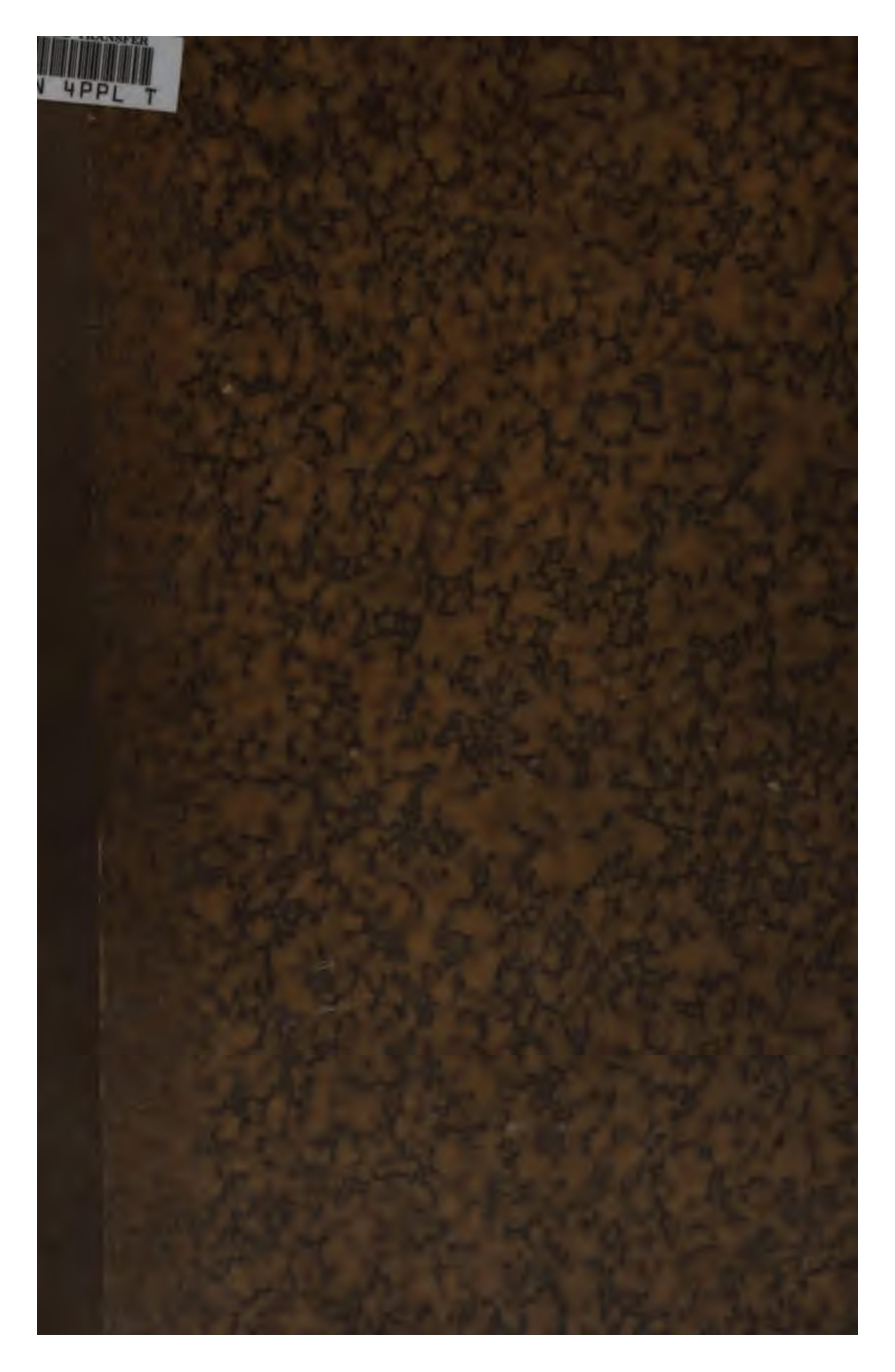


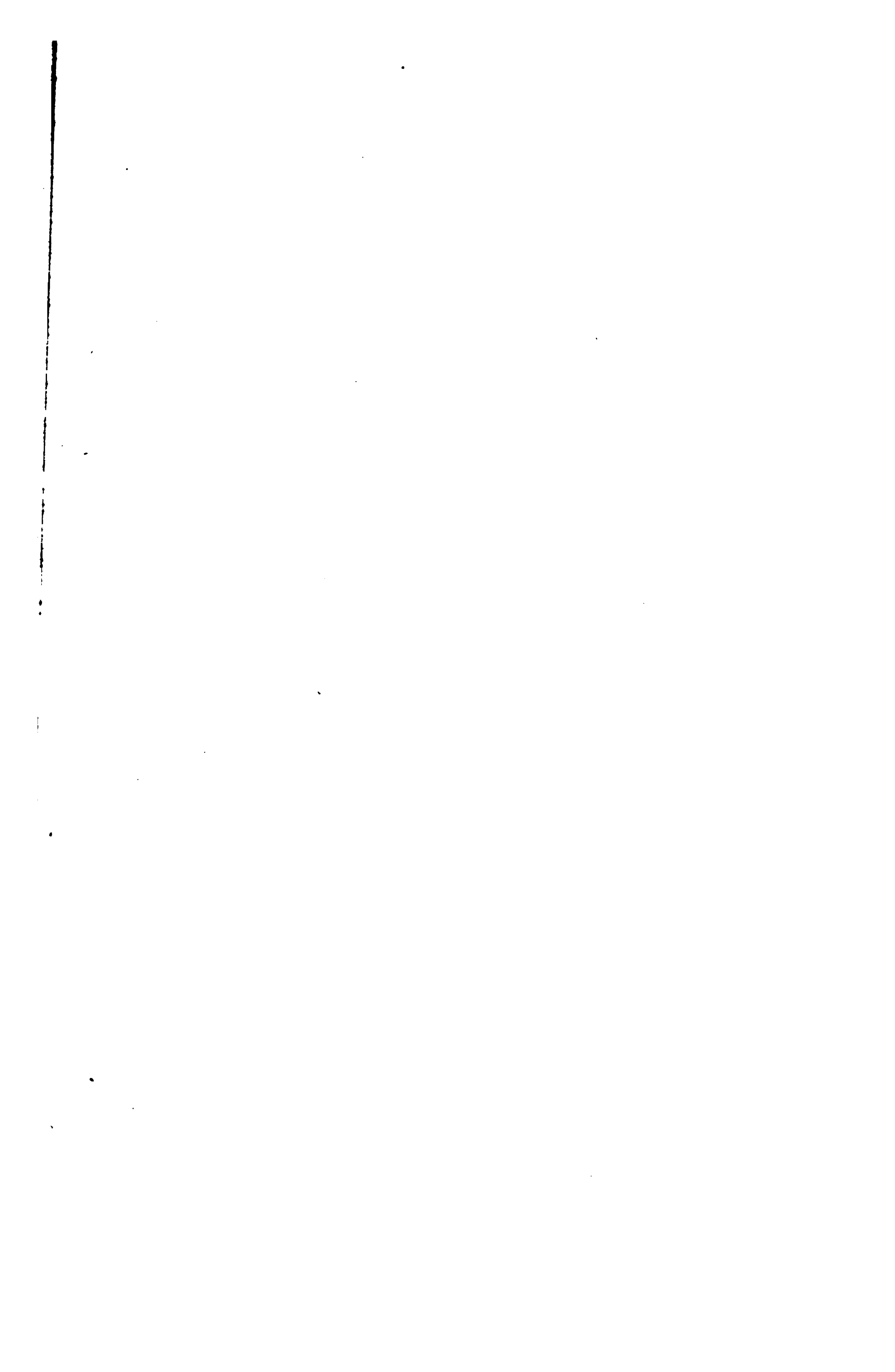

SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL: 1650.
CHRISTO
ET
ECCLESIAE
BOUGHT WITH THE INCOME
FROM THE BEQUEST OF
PROF. JOHN FARRAR, LL.D.,
AND HIS WIDOW,
ELIZA FARRAR,
FOR
"BOOKS IN THE DEPARTMENT OF
MATHEMATICS, ASTRONOMY, AND
NATURAL PHILOSOPHY"
23 July, 1873.



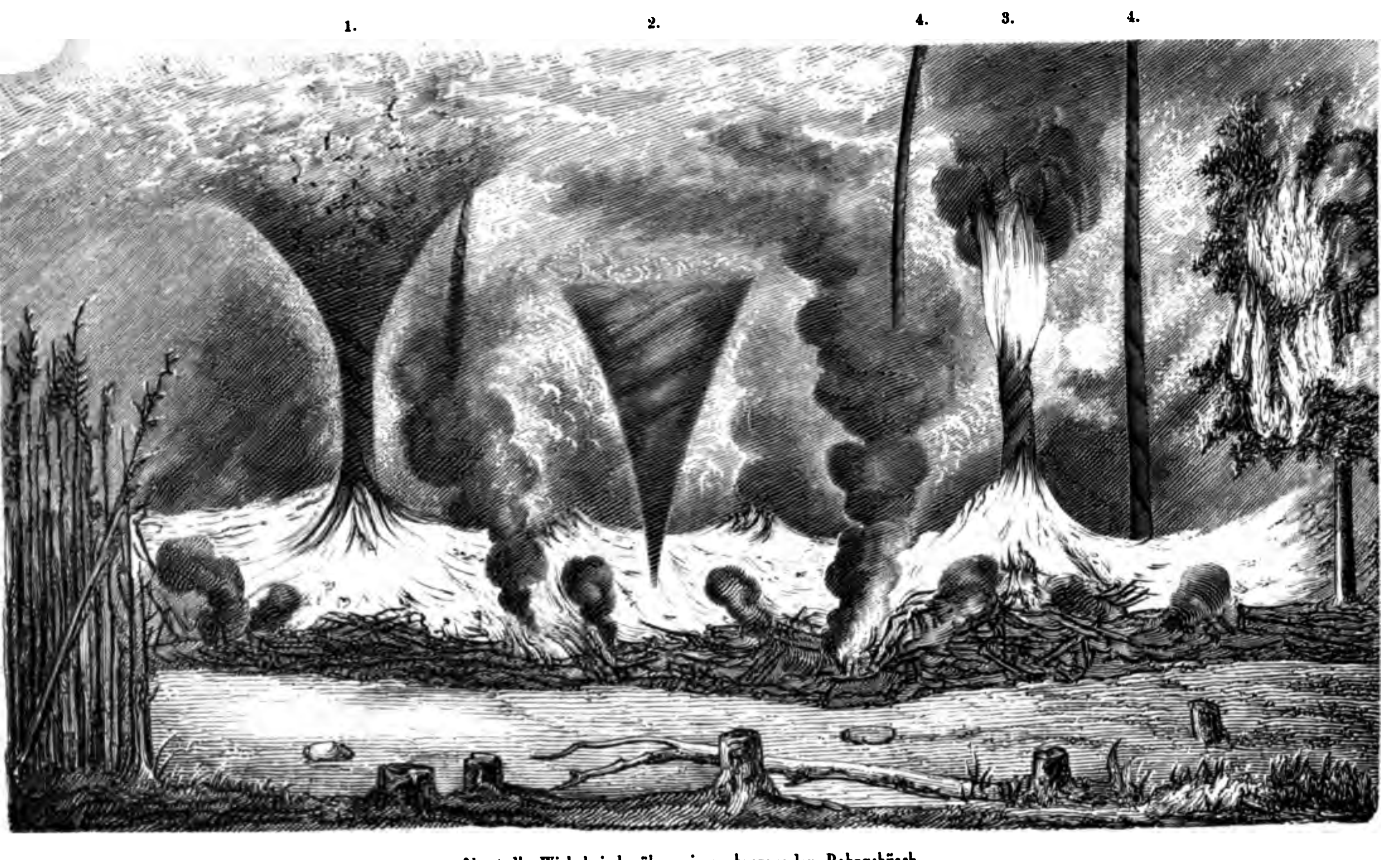


Die

Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen.







Olmsted's Wirbelwinde über einem brennenden Rohrgebüsch.

Die

Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen

in der Erd-Atmosphäre

mit Berücksichtigung

der Stürme in der Sonnen-Atmosphäre

dargestellt und wissenschaftlich erklärt

von

Dr. Theodor Reye,

ordentl. Professor an der Universität Strassburg.

Mit vier Sturmkarten zum Gebrauche für Seeleute,

30 Holzschnitten und Lithographien.

HANNOVER.

Carl Rümpler.

1872.



Druck von August Grimpe in Hannover.

Vorrede.

Bei der Ausarbeitung dieses Buches habe ich nicht nur die Meteorologen von Fach und die gebildeten Seeleute unserer Kriegs- und Handelsmarine im Auge gehabt, sondern auch den weiteren Leserkreis, der für die Naturwissenschaften und insbesondere für Wind und Wetter Interesse hat. Möchte es mir gelungen sein, durch die zahlreich eingeflochtenen Berichte über verheerende Wettersäulen und Wirbelstürme, durch eine unbefangene Schilderung dieser gewaltigen Natur-Erscheinungen und durch ihre wissenschaftliche Erklärung auch diesem grösseren Kreise fruchtbare Anregung zu bieten! Den Bedürfnissen des Seemanns habe ich durch die besten, bis jetzt vorhandenen Sturmkarten, die ich zum Theil noch vervollständigt habe, sowie durch Aufstellung praktischer Regeln gerecht zu werden gesucht; ebenso den Anforderungen des gelehrten Physikers durch die in den Anhang verwiesene mathematische Begründung meiner theoretischen Erörterungen und durch einen reichhaltigen Literatur-Nachweis. Der wohlwollenden Kritik des Astronomen empfehle ich die Ansichten, welche ich über die oft beobachteten Wirbelstürme der Sonnen - Atmosphäre ausgesprochen habe. Allen meinen Lesern aber, dem Naturfreunde wie dem Seemann und dem Gelehrten, glaube ich eine Erklärung darüber schuldig zu sein, wie ich als

Mathematiker dazu komme, sie über eins der wichtigsten, aber von der Mathematik weit entlegenen Capitel der Meteorologie unterhalten zu wollen.

An der Nordsee geboren, fühlte ich schon in früher Jugend mich lebhaft ergriffen von der grossartigen Naturerscheinung unserer Küstenstürme. Das Heulen und Brausen des Sturmwindes, der den Knaben nicht selten aus dem tiefsten Schlafe wach rief, seine rasende Wuth, welcher die grössten Bäume zum Opfer fielen, dann das schäumende Meer, das hoch an den Deichen emporschwoll und manchmal seine Wellen weit über sie hinwegspritzte, machten schon früh einen unauslöschlichen Eindruck auf meine Einbildungskraft. Gespannt lauschten wir Knaben, wenn draussen der Sturm tobte, den Erzählungen der Eltern, dass vor Zeiten ein ganzes, reiches Kirchspiel dort gestanden habe, wo jetzt der Elbstrom sich mit dem Meere vereint, dass noch zu Menschengedenken ein gutes Stück unseres eingedeichten Landes den Fluthen preisgegeben werden musste, und dass noch jetzt unsere Heimath bei jedem Sturme grosser Wassersgefahr ausgesetzt sei. Sie selbst hatten ja das schreckliche Unglück des Jahres 1825 mit erleben müssen! Damals durchbrach eine Sturmfluth unsere starken Erddämme und überschwemmte die fruchtbaren Elbmarschen meilenweit; das salzige Wasser, Schutt und Schlamm zurücklassend, verdarb auf Jahre hinaus das Acker- und Weideland, und verheerende Seuchen ergriffen hernach zuerst den Viehstand, dann auch die schwergeschädigten Menschen. Später hörten wir nach jedem grossen Sturme von reichbeladenen Kauffahrern, die draussen auf den Sandbänken mit Mann und Maus zu Grunde gegangen seien; man zeigte uns bisweilen die an den Strand treibenden Balken und Tonnen. Wir sahen arg zugerichtete Haverie - Schiffe mit genauer Noth bei Cuxhafen einlaufen, und fingen an, auf ihre fernen, dumpfen

Nothschüsse im Sturme zu achten. Und wenn die sich überstürzenden Wellen den Seedeich durchweichten und bereits hie und da die ihn schützende Rasendecke weggerissen, so wurden auch wir der drohenden Gefahr inne, für deren Abwendung allsonntäglich in den Kirchen unserer Küste gebetet wird. Allmälig begriffen wir auch die mühsamen und kostspieligen Uferbauten, mit denen unsere Ingenieure das Land gegen den Anprall der Wogen zu schirmen suchen.

Unvergesslich blieb mir seit jener Knabenzeit das prachtvolle, erhabene Schauspiel der brandenden, schaumgekrönten Wellen, und ferne vom heimathlichen Strande, selbst in der Schweizer Alpenwelt, weckte jeder Sturm auf's Neue in mir die Sehnsucht nach ihrem Anblick. Zugleich aber mahnte mich das Heulen des Windes an einen Bruder und an liebe Schulkameraden, die als Seeleute allen Gefahren der Orkane ausgesetzt waren und von denen einige jetzt längst im kühlen Meere ihr Grab gefunden haben.

Bei solchen Jugendeindrücken konnte mir ein lebendiges Interesse an Wind und Wetter niemals fehlen, und gern liess ich mich zeitweilig von der ehrwürdigen und ernsten Mathematik ablenken durch ihre jüngere, phantasiereichere Schwester Meteorologie. Bald fand ich, dass derselben bei all' ihrem Reichthum an Kenntnissen und geistreichen Ideen doch hie und da ein wenig mathematische Zucht nicht schaden könne; denn nur durch genaue Rechnungen lässt sich die Tragweite gewisser Annahmen, die sie macht, feststellen, auch verirrte sie sich bisweilen in unhaltbare und deshalb schädliche Speculationen. Wir wollen hiefür zwei Belege anführen, die den Gegenstand dieses Buches betreffen. Die meisten Meteorologen erklärten bisher die Wirbelwinde und Wettersäulen theils für electrische Erscheinungen, theils für ein Erzeugniss

aufeinander treffender Windstösse; es ist aber bekannt, dass diese Meteore vorzugsweise bei völliger Windstille auftreten, und bei vielen derselben konnte keine Spur von Electricität wahrgenommen werden. Ferner ist bei der Lehre von den Wolken, der Hagelbildung und den Gewittern immer viel von aufsteigenden und niedersinkenden Luftströmen die Rede; die Frage aber, auf die es hiebei ankommt, unter welchen Umständen nämlich solche vertikale Strömungen in unserer Atmosphäre möglich sind, habe ich in meteorologischen Werken sehr selten berührt und in keinem derselben gründlich erledigt gefunden.

Diese nicht unwichtige Frage habe ich vor jetzt acht Jahren mit Hülfe der mechanischen Wärmetheorie gelöst, und beiläufig nachgewiesen, dass die Hagelwetter nicht, wie damals behauptet worden war, durch herabstürzende kalte Luftströme erzeugt werden können.*) Zugleich habe ich die Wettersäulen und Wirbelwinde auf dieselbe Weise wie im zweiten Abschnitte des vorliegenden Buches erklärt, und schon damals die Ueberzeugung gewonnen, dass auch in den Wirbelstürmen ein ausgedehnter und heftiger aufsteigender Luftstrom das Ursprüngliche ist. Die Dove-Redfield'sche Erklärung der Cyclonen liess meine seemännischen Freunde und mich unbefriedigt; denn sie versucht die Wettersäulen und die Wirbelstürme, welche naturgemäss in eine einzige Klasse von Erscheinungen gehören, von einander zu trennen, sie giebt von den ungeheuren mechanischen Leistungen der Wirbelstürme gar keine, von dem Sinken des Barometers und den begleitenden Regengüssen ganz ungenügende Rechenschaft, und sie beruht noch dazu auf einer Anzahl sehr unwahrscheinlicher Hypothesen. Meine späteren Studien haben mich in diesen Ansichten nur bestärkt, indem sie mich mit einer

*) Vgl. meine Arbeit: „Ueber vertikale Luftströme in der Atmosphäre"; in Schlömilch's Zeitschrift für Mathematik und Physik, 1864, Bd. 9, p. 250—276.

ganzen Reihe damit übereinstimmender Thatsachen bekannt machten.

Bei der Zusammenstellung dieser Thatsachen, von denen einige der wichtigsten, wie z. B. das Hineinströmen der Luft in das Innere der Wirbelstürme, in Deutschland bisher nicht beachtet worden sind, habe ich mich möglichster Vollständigkeit und zugleich strenger Objectivität befleissigt. Zu dem Ende habe ich, so oft es ohne Weitschweifigkeit möglich war, die Beobachtungen und allgemeinen Ergebnisse meiner Vorgänger möglichst getreu mit ihren eigenen Worten oder in sorgfältiger Uebersetzung wiedergegeben. Das so gewonnene Gesammtbild der Wettersäulen, Tornados oder Cyclonen suchte ich sodann durch bemerkenswerthe Beispiele im Einzelnen zu vervollständigen und zu erläutern. Erst zuletzt, wenn das Ganze der verwickelten Naturerscheinung, soweit wir sie bis jezt kennen, möglichst unbefangen geschildert war, schritt ich zu ihrer Erklärung. Ich hoffe so dem Vorwurfe zu entgehen, welchen früher die Erforscher der Wettersäulen und Wirbelstürme oft gegen einander erhoben haben, dass sie nämlich mit vorgefassten Meinungen an diese Meteore herangetreten seien und dieselben einseitig aufgefasst und geschildert haben.

Bei Abfassung dieses Buches leiteten mich vor Allem der lebhafte Wunsch und die Hoffnung, zur Sicherheit unserer braven Seeleute und der auf dem Meere schwimmenden reichen Erzeugnisse menschlichen Fleisses einen bescheidenen Theil beizutragen; sie regten mich immer von Neuem an zu der langjährigen Forschung und dem vielfachen Nachdenken, deren Ergebniss ich jetzt meinen Lesern darbiete. Wie jede derartige Arbeit, so hat auch diese ihren schönsten Lohn in sich selbst getragen, indem sie mir manche genussreiche Stunde verschafft hat. Gleichwohl hat sie auch einen schmerzlichen Eindruck in

mir zurückgelassen, den ich desto peinlicher empfand, je tiefer ich in die reiche Literatur der Wirbelstürme eindrang: das Bedauern nämlich, dass unsere Deutsche Handelsflotte, diese drittgrösste der Welt, so äusserst wenig oder vielmehr gar nichts zu diesen ungemein wichtigen Kenntnissen beigetragen hat. Die grosse Nation der Deutschen, die in allen anderen Wissenschaften sich rühmlichst hervorthut, diese intelligente, unternehmende Nation, deren Schiffe auf allen Meeren schwimmen und deren Handelshäuser sich an allen überseeischen Plätzen zu hohem Ansehen emporgeschwungen haben, sie wird in der praktischen Erforschung der Winde und Meeresströmungen nicht nur von den Engländern und Nordamerikanern, sondern sogar von viel kleineren Nationen, wie von den Holländern und Norwegern, völlig in Schatten gestellt. Es schmerzt mich tief, dieses traurige Bekenntniss ablegen zu müssen; aber anders kann es nur dann werden, wenn alle Betheiligten zu dem Bewusstsein gelangen, dass es unseres Volkes unwürdig ist, von anderen und zumal kleineren Völkern sich beständig mit neuen Entdeckungen auf diesem Gebiete beschenken zu lassen, ohne es ihnen zu vergelten. Auch ist diese Sachlage für unsere Schifffahrt und unseren Handel geradezu gefährlich; denn wenn z. B. die Engländer uns in der Kenntniss der Winde und Strömungen noch weiter überflügeln, so wird es bald keinem Kaufmann mehr in den Sinn kommen, einem Deutschen Schiffe vor Englischen den Vorzug zu geben, wie es bisher namentlich in den Chinesischen Gewässern häufig der Fall war.

Vor Allem trägt wohl die jetzt glücklich beseitigte politische Zersplitterung unseres Vaterlandes die Schuld an diesem traurigen Stande der Dinge. Wie konnten wir gleich den genannten Nationen eine Centralstelle zur Erforschung der herrschenden Winde aller Meere und zur

Ermittelung der günstigsten Schiffs-Kurse errichten, so lange wir nicht einmal eine einheitliche Flagge führten! Das ist jetzt anders geworden, und sogleich mit dem geeinigten Norddeutschland entstand bereits eine Norddeutsche Seewarte. Wir dürfen mit Zuversicht erwarten, dass das neuerstandene Deutsche Reich diesem nützlichen Institute die erforderlichen Mittel und Arbeitskräfte nicht versagen wird, damit es die ihm gestellten wissenschaftlichen Aufgaben, die ja zugleich für unseren Seehandel eine eminent praktische Bedeutung haben, erfolgreich bewältigen könne.

Aber Das reicht keineswegs aus; vielmehr müssen auch die Rheder und Schiffs-Capitaine nicht bloss Hamburgs, sondern aller unserer Seeplätze mit dieser Centralstelle in beständigen Verkehr treten, was bis jetzt nur zu wenig geschieht. Sie müssen ihre Wahrnehmungen und namentlich ihre Schiffsjournale derselben mittheilen, sie müssen diese Tagebücher den Rathschlägen der Seewarte entsprechend führen. Glaube doch keiner von unseren Seeleuten, dass es auf seine kurzen Notizen nicht ankommen könne! Nur durch vereinte Arbeit vieler und weit zerstreuter Kräfte kann auf dem Gebiete der Witterungskunde Grosses geleistet werden, und gerade für die Wirbelstürme hat manche anscheinend unbedeutende Bemerkung in Journalen kleiner Schiffe schon die grösste Wichtigkeit erlangt. Denke nur Jeder daran, dass seine Erfahrungen und sein Tagebuch vielleicht dazu beitragen werden, Hunderten wackerer Seeleute in Zukunft das Leben zu erhalten, indem sie das Meer gefahrloser machen helfen.

Wir dürfen vertrauensvoll erwarten, dass unsere junge Kriegsmarine bald mit der Englischen und der Americanischen, welchen wir sehr viele wichtige Beobachtungen gerade über die Wirbelstürme verdanken, auch auf diesem

Gebiete wetteifern werde. Hier sind friedliche Siege zu erringen, deren Ruhm selbst von demjenigen eines gewonnenen Seetreffens nicht überstrahlt wird. Der Engländer Piddington hat die sichere Erwartung ausgesprochen, es würden bald zur Erforschung der Stürme ebenso wie zu derjenigen ferner Länder und Meere Expeditionen ausgerüstet werden; ich hoffe es zu erleben, dass dieser kühne Gedanke durch Kaiserlich Deutsche Schiffe verwirklicht wird.

Aachen, Februar 1872.

Inhalts-Verzeichniss.

Seite

Einleitung 1

Das Räthselhafte der Wettersäulen und Wirbelstürme 1
Wirbelwinde beim Brande eines Rohrgebüsches 3
Wirbelnde Feuer- und Rauchsäulen bei Waldbränden 8
Wirbelwinde über den Kratern thätiger Vulkane 10
Schilf- und Grasbrände, welche Regen erzeugen 12
Ursache der Wirbelbewegung von Rauchsäulen 15

Erster Abschnitt.

Schilderung der Wettersäulen oder Land- und Wasserhosen . 17

Staub- und Sandhosen über erhitzten Flächen, in Wüsten und Steppen . . 18
Wirbelwinde über heisser Lava und vulkanischer Asche 20
Vorläufer der Wettersäulen; Form und Grösse derselben 21
Fortschreitende, rotirende und vertikale Bewegung der Wettersäulen . . . 24
Begleitende Erscheinungen 25
Die Wettersäule von Hainichen 27
Mechanische Wirkungen von Wasserhosen 28
Die Trombe von Chatenay 29
Die Wettersäule von Königswinter 30

Zweiter Abschnitt.

Ursachen und Entstehung der Wettersäulen 35

Die älteren Erklärungen der Wettersäulen und ihre Mängel 35
Das labile Gleichgewicht der Luft 39
Wirkung des atmosphärischen Wasserdampfes in aufsteigenden Luftströmen 42
Erklärung der Wettersäulen durch vertikale Luftströme 46
Folgerungen aus dieser Erklärung der Wettersäulen 50

Dritter Abschnitt.

Seite

Die Nordamericanischen Tornados 55

Zusammenstellung von 31 Tornados der Vereinigten Staaten 55
Gestalt, Ausdehnung und Bewegungen der Tornados 61
Der Tornado von New Haven 64
Der Tornado von New Brunswick 65
Der Tornado von Stow in Ohio 68
Der Tornado von Mayfield 70
Der Tornado von Providence 71
Wirkliche Breite der Tornado-Stürme 73

Vierter Abschnitt.

Schilderung der Cyclonen oder Wirbelstürme 76

Geschichtliches über die Entdeckung ihrer Bewegungsgesetze 77
Kreisende und centrale Bewegung des Sturmwindes in Cyclonen 79
Durchmesser der Wirbelstürme 81
Windstille in der Mitte der Orkane 83
Wolken und Regen als ständige Begleiter der Cyclonen 85
Fallen des Barometers in Wirbelstürmen 87
Sturmbahnen 91
Geschwindigkeit des Fortschreitens der Cyclonen 93
Aufregung des Meeres durch Wirbelstürme 96
Jahreszeiten, in denen die Orkane vorzugsweise eintreten 101

Fünfter Abschnitt.

Mechanische Wirkungen der Wirbelstürme 102

Barbados-Orkan vom 10. August 1831 102
Electrische Erscheinungen in Cyclonen 105
St. Thomas- und Antigua-Orkan, 2. August 1837 106
Sturm auf Guadaloupe, 25. Juli 1825 109
Europäische Stürme 110
Wirbelsturm von Teneriffa, 6. und 7. November 1825 110
Mauritius-Orkane, insbesondere der vom 1. März 1818 111
Chinesische Teifuns 113
Teifun der Preussischen Corvette Arkona bei Japan, 2. Septbr. 1860 . . . 114
Der grosse Orkan von 1780 in Westindien 116
Arbeitsverbrauch in Cyclonen bei Aufwühlung des Luftraumes 119
Mechanische Arbeiten bei den Regengüssen der Stürme 122

Sechster Abschnitt.

Die Ursachen der Wirbelstürme 124

Gleichartigkeit der Wettersäulen, See-Tornados und Cyclonen 125
Schilderung der See-Tornados von Africa und Central-America 126

Seite
Der aufsteigende Luftstrom in Wirbelstürmen 130
Die Wärme des Wasserdampfes als Triebkraft der Cyclonen 132
Der windstille Centralraum und das „Auge“ des Sturmes 133
Erklärung der Böen und plötzlichen Windstösse 134
Entstehung der Cyclonen und ihrer Wirbelbewegung 135
Höhe der Wirbelstürme 139
Mohn's Erklärung des Fortrückens der Cyclonen 141
Die Erweiterung der Wirbelstürme in höheren Breiten 144

Siebenter Abschnitt.

Die älteren Erklärungen der Wirbelstürme 146

Piddington's Electricitäts-Hypothese 147
Thom's Erklärung der Cyclonen durch entgegengesetzte Monsune 148
Dove's Ansichten über die Entstehung der Wirbelstürme 151
Einwendungen gegen Dove's Erklärung der Cyclonen 155
Die Redfield-Dove'schen Erklärungen des Barometerfalles und der Wolkenbildung in Cyclonen 157
Heisse und kalte Windstösse in Orkanen 159
Mechanische Leistungen und Regenmengen der Wirbelstürme 160

Achter Abschnitt.

Wirbelstürme in der Sonnen-Atmosphäre 161

Oertliche und geographische Verbreitung der Wettersäulen und Wirbelstürme 161
Irdische Cyclonen der Vorzeit 162
Constitution der Sonnen-Atmosphäre 164
Die Sonnen-Protuberanzen und die Chromosphäre 166
Wirbelstürme in der Chromosphäre der Sonne 168
Die Sonnenflecke und Sonnenfackeln 171
Erklärung der Sonnenflecke 178

Neunter Abschnitt.

Praktische Regeln für Seeleute 187

Peilung des Cyclonen-Centrums 188
Merkzeichen herannahender Wirbelstürme 191
Bestimmung der Sturmbahn von einem Schiffe aus 193
Verhalten von Schiffen, die sich hinter, seitlich von oder vor dem Sturmcentrum befinden 194
Reid's Regel über das Beidrehen von Schiffen in Cyclonen 196
Heraussegeln aus einem Wirbelsturme 200
Untergang Englischer Kriegs- und Priesenschiffe, 17. Septbr. 1782 201

Seite
Vermeidung von Teifuns seitens des Commodore Rodgers 204
Capt. Miller's Benutzung eines Wirbelsturmes zu schneller Fahrt 206
Capt. Hall's Bericht über die Vermeidung eines Teifun-Centrums 207

Anhang.

Rechnungen, auf welchen unsere Entwickelungen z. Th. beruhen.

1. Die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei der Wolkenbildung . . 210
2. Das Spannungsgesetz feuchter Luft 215
3. Der labile Gleichgewichtszustand in der Atmosphäre 222
4. Die Geschwindigkeit im aufsteigenden Luftstrome 227

Literatur-Nachweis 235
Personen- und Sach-Register 241

Einleitung.

Die Wirbelwinde, Wettersäulen, Land- und Wasserhosen, Orkane und Wirbelstürme gehören trotz zahlloser Beobachtungen und einer ausgedehnten Literatur noch immer zu den räthselhaftesten Erscheinungen unserer Atmosphäre. Wahrhaft beängstigend und unheimlich ist deshalb der Eindruck, den selbst die anscheinend harmlosesten unter ihnen, die Wasserhosen, auf den Seefahrer machen. Wer fühlte sich nicht durch die blosse Schilderung derselben lebhaft ergriffen! Unbeweglich liegt das Schiff in der Windstille; glatt ist das Meer und schwül die Luft: da plötzlich senken die Wolken sich gegen das Schiff herab, zugleich erheben sich ganz in der Nähe lang gestreckte Säulen aus dem Wasser, und steigen unter sausendem Geräusch wirbelnd empor, bis sie sich mit den schlauchartigen Wolkenenden vereinigen. Das Meer scheint aufwärts gen Himmel zu strömen, und mit Entsetzen sieht es der Seemann, voll Furcht mitgerissen oder von den näher rückenden, ungeheuren Säulen mit seinem ganzen Schiff in die Tiefe hinabgedrückt zu werden. In seiner Bedrängsniss löst er die Kanonen gegen die Ungethüme; da heben, noch ehe sie ganz herangekommen sind, auf einmal die Säulen sich ab vom Meere und verschwinden spurlos in den Wolken. Ein kühlender Regen strömt bald aus diesen hernieder, von Blitz und Donner begleitet, und mit neuem Staunen bemerkt der Schiffer, dass die grossen Tropfen aus reinem, süssem Wasser bestehen. Er dankt seinem Schöpfer, dass endlich ein frischer Wind sich erhebt und ihn unbeschädigt von der unheimlichen Stelle wegführt. [1])

Gefährlicher freilich sind die fürchterlichen Drehstürme der West- und Ostindischen Gewässer, aber zugleich dem Seemanne vertrauter. Das Barometer kündigt sie im Voraus an, ein unter-

richteter Capitain weiss, in welchem Sinne sie sich zu drehen pflegen und welchen Kurs er steuern muss, um sich von ihrer gefährlichen Mitte zu entfernen. Auch die Bahn, welche ihr Centrum meistens durchläuft, ist bekannt, und man kann sich frühzeitig auf sie gefasst machen. Neuerdings werden ja tagelang im Voraus die Schiffe durch den Telegraphen gewarnt, wenn solche Wirbelstürme über den Ocean heranbrausen; man liest sogar Vorschläge, wie sie behufs schneller Fahrten von den Schiffen nutzbar gemacht werden können. Aber dennoch, wie räthselhaft bleibt immerhin ihr Ursprung! Wie entstehen sie? weshalb dreht sich der Westindische Orkan immer von Süd über Ost nach Nord und West, und weshalb rotiren die Wirbelstürme der südlichen Halbkugel in entgegengesetztem Sinne? Was treibt bei jenem das Centrum zuerst von Africa her gegen Nordwesten nach Westindien hinüber, und weshalb biegt es dort fast regelmässig nach Nordosten um, und durchschreitet in dieser Richtung abermals den Atlantischen Ocean?

Aehnliche, auch praktisch wichtige Fragen nach den Ursachen der Erscheinung drängen sich dem forschenden Geiste auch bei jedem Wirbelwinde des Festlandes auf, seien es jene kleinen, kreiselnden Wirbel, die an sonnigen, stillen Sommertagen den Chaussée-Staub leicht emporheben, seien es die gefürchteten Landhosen der Africanischen Wüsten, die mit Wolken heissen Sandes die Caravanen überschütten, oder die zerstörenden Tornados der Vereinigten Staaten, welche in Wäldern durch umgerissene Bäume ähnlich ihren Weg bezeichnen, wie die Windhosen in unseren Fruchtfeldern manchmal durch niedergestreckte Kornähren. Sie alle haben mit den Wasserhosen und Wirbelstürmen des Meeres nicht nur sehr oft eine starke Drehbewegung gemein, sondern sie beschreiben gleich den letzteren regelmässig eine lang gestreckte, verhältnissmässig schmale Bahn, deren Breite ihrem eigenen Durchmesser gleichkommt.

Wir wollen jenen merkwürdigen und zugleich wichtigen Naturerscheinungen näher treten, indem wir uns zunächst mit den Formen, in denen sie sich zeigen, mit der Art ihrer Bewegung und mit ihren mechanischen und meteorologischen Wirkungen bekannt machen, und uns sodann nach ihren Ursachen umsehen. In Bezug auf die letzteren werden wir zu anderen Ergebnissen als unsere Vorgänger gelangen. Auf die bisherigen Erklärungsweisen der Wettersäulen und Wirbelstürme werden wir wiederholt

zurückkommen müssen, um nachzuweisen, wo sie uns unbefriedigt lassen und unzureichend erscheinen, oder gar den Thatsachen widersprechen. Vom Kleinen zum Grossen aufsteigend werden wir zuerst die gewöhnlichen Land- und Wasserhosen, dann die Nordamericanischen Tornados, diese orkanartigen Wettersäulen, und endlich die Dreh- oder Wirbelstürme der grossen Meere unserer Erde besprechen. Zur Einleitung in das Studium der Wirbelwinde mögen einige zuverlässige Berichte von grossartigen Bränden dienen, bei denen solche Wirbel sich zeigten.

Mit den Hauptformen der Wirbelwinde macht uns Olmsted's lebhafte Schilderung[2]) vom Brande eines Rohrgebüsches rasch bekannt; sie sind auf unserem Titelblatte, einer sorgfältigen Nachbildung von Olmsted's Tafel, dargestellt. Die Grossartigkeit und Schönheit dieses Rohrbrandes kann freilich, wie Olmsted sich ausdrückt, durch keine Gravirkunst oder Malerei wiedergegeben werden; „denn nicht nur die tiefe Farbe der Flamme und „die weite Ausdehnung der überstrichenen Fläche, sondern „auch die rasche Bewegung und der mannigfaltige Wechsel der „zahlreichen Wirbelwinde trugen viel dazu bei." — Das Rohrgebüsch lag am Ufer des Black-Warrior-Flusses bei Tuscalosa in Alabama; es bestand aus einer Art Rohr, welches bei einer Dicke von 1 bis 2 Zoll bis zu 35 oder 40 Fuss, also haushoch aufschiesst. Die Rohre bilden Dickigte, in denen die einzelnen Stämme trotz ihrer Höhe oft nur 1 bis 2 Zoll auseinander stehen; sie finden sich an den Ufern aller Flüsse der äussersten südlichen und südwestlichen Staaten der Union, besonders in Alabama, Mississippi, Louisiana und Texas, und wachsen so wunderbar schnell, dass junge Schösslinge manchmal um zehn Zoll in einer Nacht zunehmen sollen. Ihr Stamm ist rund und hohl, mit Knoten alle 12 oder 14 Zoll und einem pinselförmigen Busch langer schmaler Blätter an der Spitze. Im Rohrgebüsche stehen manchmal grosse Bäume zerstreut, die wahrscheinlich schon aufgeschossen waren, ehe noch das Rohr den Boden bedeckte; sonst ist alle andere Vegetation ausgeschlossen.

Das Rohrland ist wegen seiner Fruchtbarkeit und weil es sehr leicht gesäubert werden kann, sehr gesucht. Beim Abräumen fasst der Arbeiter das Rohr, theilt den Schaft durch einen einzigen Beilhieb, wirft ihn hinter sich, und so ist ein Acker Landes bald gesäubert. Dann lässt man die Rohre 4 bis 6 Wochen trocknen, sammelt sie zu Haufen und zündet sie an verschiedenen

Stellen zugleich an. Da die Wurzeln meistens an der Oberfläche liegen, so verbrennen sie mit dem Uebrigen, und das Land ist dann zum sofortigen Feldbau fertig. Gleich bei Beginn des Brandes dehnt sich die Luft in den hohlen, gegliederten Stielen aus und sprengt die Rohre mit lautem Knall auseinander. Diese an vielen Rohren zugleich eintretenden Explosionen erzeugen ein anhaltendes Knattern gleich dem Gewehrfeuer einer Armee, während die Flammen sich mit grosser Geschwindigkeit fortwälzen. — Doch lassen wir jetzt Olmsted selber erzählen.

„Das Rohrgebüsch in welchem dieser Brand Statt fand, bedeckte eine Fläche von 25 Acres. Es wurde an dem entferntesten Ende angezündet, und da der Landstrich etwas gekrümmt und unregelmässig war, so blieb das Feuer zuerst unseren Blicken verborgen. Der Rauch jedoch war von Anfang an sichtbar, und das Krachen von tausend Entladungen kündigte seinen raschen Fortschritt an. Bald kamen Feuer und Rauch hinter dem Wald hervor, welcher sie eine Zeitlang verborgen hatte. Die Hitze wurde gross, wo wir standen, trotz der Entfernung von mehr als 200 Yards (600 Fuss) vom Feuer.

„Die über das trockene Rohr fortschreitende Flamme zeigte Tinten von einer Intensität und einem Reichthum, die unvergleichlich schöner sind, als die durch Verbrennung aller andern Holzarten erzeugten. Keine Farbe oder Farbenzusammenstellung, die der Maler besitzt, kann ihnen gleichkommen; selbst das Roth des Prismenspectrums übertrifft sie nicht. Der Farbenton lässt sich am besten mit dem tiefsten Roth des Spectrums vergleichen. Auch der Rauch war kaum weniger prachtvoll, als er aus dem tiefen Grunde, in welchem das Feuer wüthete, sich emporwälzte, weit höher als die Anhöhe, auf welcher wir standen. Seine dichten schwarzen Massen waren dunkler, als die dunkelste Gewitterwolke ....

„Wirbelwinde von grosser Mannigfaltigkeit der Form begannen jetzt sich in dem heissesten Theile des Feuers zu zeigen; sie wuchsen allmälig an Grösse, Zahl und hinsichtlich des Raumes wo sie herrschten ..... Sie waren zuerst von vergleichsweise kleinem Massstab, da ihre Höhe nicht 35 oder 40 Fuss überstieg. Darauf folgten andere in grösserem Massstab, bis sie die Höhe von mehr als 200 Fuss erreichten. Die Flamme und der Rauch, welche ihre Säule bildeten, waren völlig verschieden von der allgemeinen Masse, die vom Feuer aufstieg. Selbst als das Feuer

bis zu grosser Ausdehnung niedergebrannt war, bildeten sich viele Wirbelwinde über der Asche, und dieses dauerte fort bis wir weggingen. Während der letzten Zeit waren jedoch die Wirbelwinde ausschliesslich die auf der Tafel mit 2 und 4 bezeichneten.

„Die Arten von Wirbelwinden, welche während des Fortschrittes des Feuers vorkamen, können in vier Gruppen geordnet werden.

„1. Die häufigste Form war stationär über einem Theile des Feuers, welcher heisser war als die benachbarten; sie ist in No. 1 (unseres Titelblattes) dargestellt. Ihr Fuss ruht auf einem Haufen brennenden Rohres, und die Luft in dieser Gegend fliesst von allen Seiten gegen die Mitte heran. Rauch und Flamme nehmen jedoch bald oben in der Säule eine Drehbewegung an, und das Ganze erweitert sich zu der Stundenglas- oder Trichterform der gewöhnlichen Wirbelwinde, die man oft in kleinem Massstabe sieht.

„2. Die zweite Art (No. 2) hat eine fortschreitende Bewegung; ihre Gestalt zeigt beinahe die Art an, wie sie sich bildet. Diese traten gemeiniglich über der Asche auf, indem sie oben in der Luft entstehen; sie glichen deshalb dem oberen Theile von No. 1 und den Wirbelwinden, welche durch Begegnung von Luftströmen entstehen. Einige derselben traten aus den Flammen heraus und wurden unsichtbar; eine jedoch kam nahe genug zu uns heran, um durch ihr raschelndes Geräusch und die aufgerissenen Blätter bemerklich zu werden. Diese war etwa 15 bis 20 Fuss hoch; sie bewegte sich langsam gegen uns, während wir etwa 300 Yards (900 Fuss) vom Feuer entfernt standen (wir hatten uns nämlich von unserem früheren Standorte zurückgezogen). Gegen das Ende des Brandes zeigten sich einige sehr grosse Wirbelwinde von dieser Form, gleich Kreiseln von einem Theile des Feuers zum andern wirbelnd, indem sie ihren Weg durch Fortblasen der Asche und Kohlen markirten, und nur den kleinen Betrag Asche emportrugen, der gerade unter den Spitzen ihrer Kegel lag.

„3. Eine sehr interessante Erscheinung trat bei einigen der Wirbelwinde ein, welche in No. 3 abgebildet sind. Dieser Wirbelwind bildet sich auf einem Haufen brennenden Rohres. Die Flamme wirbelt empor in eine Säule, wo sie erlischt und wo ihr ein dunkler Zwischenraum von Rauch folgt; oben gegen das Ende bricht die Flamme von Neuem hervor. Der dunkle Zwischenraum bleibt sich nicht gleich, sondern verkürzt sich manchmal

bis beinahe zu einer Linie, und dann dehnt er sich wieder nach oben hin aus, bis er alle oberen Theile der Flamme verdeckt und auslöscht. Diese Erscheinung mochte wohl von einem Geschwindigkeitsunterschiede in den verschiedenen Theilen des Wirbelwindes herrühren. Die grösste Geschwindigkeit herrschte in dem dunklen Zwischenraume, und die Flamme erlosch in diesem Theile aus demselben Grunde, weshalb ein Gasstrahl hoch oben und nicht an seiner Mündung brennt, wenn ein starker Gasstrom zugeführt wird.... Die brennbaren Gase des Wirbelwindes fangen wegen ihrer schnellen Bewegung und concentrirten Form im mittleren Theile des Wirbels nicht eher Feuer, als bis sie oben sich ausdehnen und mit der atmosphärischen Luft vollständiger mischen. Die Geschwindigkeit der Wirbelwinde dürfte ohne Zweifel beständig mehr oder weniger sich ändern, und dieses dürfte der Grund sein für die beständige Variation in der Grösse des dunklen Zwischenraumes, welcher manchmal bis zu einer Linie abnahm oder ganz verschwand, wenn sich der Wirbelwind vergleichsweise langsam bewegte, und dann wieder sich ausdehnte mit der wachsenden Rotationsgeschwindigkeit, bis die Flamme des oberen Theiles ganz erloschen war und ein Rauchkegel über der Flammenbasis übrig blieb.

„4. Die Wirbelwinde der vierten Art (No. 4) waren merkwürdig wegen des gänzlichen Mangels der Trichterform, wegen ihres kleinen Durchmessers und ihrer ungemeinen Höhe, welche oft über hundert Fuss betrug, soweit der Rauch sie bezeichnete, und sich wahrscheinlich oben in die durchsichtige Luft hinein ausdehnte. Von grossem Interesse ist die Thatsache, dass selbst in diesen langen cylindrischen Wirbelwinden ihrer ganzen Länge nach die Rotationsbewegung vollkommen deutlich war, indem sie den schwarzen Rauch in Windungen gleich gekrämpelter Wolle gegen den Gipfel der sichtbaren Säule wirbelte und wahrscheinlich noch weiter, wie wir aus ihrer raschen Bewegung schliessen können. Gegen das obere Ende waren diese Wirbelwinde manchmal vom Winde gebogen. Dieser Wechsel der Richtung war plötzlicher, jäher als die Tafel ihn darstellt, und der Wirbelwind dauerte trotz desselben fort. Einige waren in eine nahezu oder ganz horizontale Richtung umgebogen und wirbelten noch rasch; andere waren in einem Niveau mit der allgemeinen Rauchmasse abgeschnitten oder verlängerten sich oben in die durchsichtige Luft hinein."

Wie Olmsted hinzufügt, herrschte anfangs ein nordöstlicher

Wind, der auch in einer Höhe von 200 bis 300 Yards fortdauerte. „Aber kurz nach Beginn des Brandes blies die Luft unten von allen Seiten gegen die Mitte des Feuers. Die Rauchsäulen stiegen mehr als 200 Yards (600 Fuss) fast gerade in die Höhe, bogen sich dann plötzlich, und zeigten hierdurch genau an, wo der herrschende Nordostwind über jene das Feuer umgebenden Strömungen die Oberhand bekam. Der Einfluss des Feuers erstreckte sich demnach auf mehr als 200 oder gar 300 Yards Höhe und über eine Fläche von mehr als 300 Yards in die Runde; denn in dieser Entfernung blies die Luft stark gegen das Feuer.“ Im Uebrigen übte das Feuer weder damals noch später eine Wirkung auf den allgemeinen Zustand der Atmosphäre aus.

„Die ganze Luftmasse zeigte nach ihrem Eintritt in den Raum über dem Feuer eine Tendenz zu einer Drehbewegung, indem sie voll von kleineren und grösseren Wirbelwinden war. Dieselben drehten sich um ihre Axen von rechts nach links und von links nach rechts ohne vorherrschende Tendenz für eine dieser Richtungen. Oft wechselte ein Wirbelwind seinen Drehungssinn, kehrte auch wohl zum anfänglichen zurück, und in einigen wenigen Fällen wiederholte sich dieses mehrmals. In keinem Falle jedoch wurde dieser wiederholte Drehungswechsel bei den Wirbelwinden No. 2 beobachtet, so dass dieser Wechsel augenscheinlich herrührte von einer Aenderung in der Form der Basis beim Niederbrennen des Rohrhaufens, auf welchem der Wirbelwind sich bildete. Die fein balancirten Luftsäulen, welche im Wirbelwinde aufstiegen, fingen an sich nach irgend einer Richtung zu drehen wegen einer geringen Ungleichheit im Feuer an einer Seite der Basis; sie änderten ihre Drehung, wenn sich diese Ungleichheit aus irgend einer Ursache nach einer anderen Stelle verschob.“

Uebrigens war die Lage des Rohrgebüsches der Bildung von Wirbelwinden sehr günstig: ein Flussufer, weithin umgeben von Wäldern und höherem Boden. Olmsted vergleicht sie mit derjenigen von Feuern, welche behufs Aufsetzens von Radschienen in einem von Gebäuden umgebenen Hofe angezündet werden, und ebenfalls Wirbel hervorrufen. ‚In einigen Anlagen dieser Art werden manchmal Wirbelwinde von ganz regelmässiger Form und 15 bis 20 Fuss Höhe gesehen. Aber dank dem trockenen Holze, mit welchem diese Feuer gewöhnlich unterhalten werden, und dem sehr geringen Betrage von Rauch, den dieses Holz liefert, ist es

gemeiniglich schwer, die genauen Formen dieser Wirbel zu bestimmen; doch sind verschiedene Male alle in diesem Aufsatze beschriebenen Arten beobachtet worden."

„Die verkohlten Rohrblätter wurden wegen ihrer Dünne und Leichtigkeit in beträchlichen Mengen fortgetrieben. Häufig wurden sie emporgetragen und manchmal entfernt vom Orte des Brandes angetroffen. Im Vergleich jedoch zu der Ausdehnung des Feuers und der ungemeinen Menge verbrannter Stoffe wurde sehr wenig auf diese Art fortgerissen. Die Verbrennung war eben so vollständig wie rasch, dank der Trockenheit des Materials, der geringen Dicke der Stämme und Stiele, woraus es bestand, und der schnellen Explosion der hohlen Glieder bei der ersten Annäherung des Feuers. Zudem konnten weder die leichteren noch die schwereren Theile unverbrannt durch die heisse Luft und die Flammen oberhalb des Feuers zu einer grossen Höhe aufsteigen." —

Sehr selten treten so viele verschiedene Formen von Wirbelwinden, wie die soeben geschilderten, gleichzeitig auf, und wir mögen uns glücklich schätzen, dass diese einen so sorgfältigen Beobachter gefunden haben, wie Olmsted. Wie grossartig aber auch der Anblick dieses Rohrbrandes gewesen sein mag, so scheint er doch noch übertroffen zu werden von demjenigen der ungeheuren Brände, durch welche die Nordamericanischen Urwälder urbar gemacht werden, und welche nicht selten ebenfalls Wirbelwinde erzeugen. Redfield[3]) hat uns mehrere Berichte von solchen Bränden überliefert, die fast in allen Zügen mit einander übereinstimmen. Folgendes ist die kurze Aussage des Dr. Cowles aus Amherst in Massachusetts.

„Im Sommer 1824 hatte ich auf sieben Acres Fichtenwaldung, welche einige Monate vorher abgeholzt waren, das ausgeschossene Bau- und Reisigholz zum Verbrennen hergerichtet. Ein ruhiger und zufällig sehr warmer Tag wurde gewählt, um die Gefahr zu vermeiden, dass das Feuer durch den Wind sich auf die benachbarten Wälder ausdehne; und da das Material sich für die Verbrennung in gutem Zustande befand, so lud ich mehrere Freunde ein, Zeugen des Brandes zu sein. Die Brennstoffe waren in Haufen und langen Zügen gesammelt, und an den äusseren Theilen des Feldes wurde ringsum Feuer angelegt so rasch es gehen wollte. Rauch und Flammen vereinigten sich darauf zu einer grossen, wirbelnden Säule mitten über dem Felde,

welche in Kegelform sich erhob und zu grosser Höhe emporstieg. Ein heftiges, in grosser Entfernung hörbares Brausen oder Brüllen (roar) begleitete sie. Obgleich der Tag völlig ruhig war, so war doch die Wirkung dieses Wirbelwindes so heftig, dass er grosse Stücke Reisig vom Boden aufhob, selbst von solchen Stellen, die vom Feuer nicht berührt wurden, und sie hoch in die Luft emportrug, aus welcher sie hernach ausserhalb der Grenzen des brennenden Feldes herabfielen.“

In einer Entfernung von $1\frac{1}{2}$ Engl. Meilen zog dasselbe Phänomen die Aufmerksamkeit des Dr. Butler auf sich. Er sah eine hohe Säule schwarzen Rauches, welche ein Sausen gleich dem eines heftigen Kaminbrandes begleitete. — Von einem ganz ähnlich entstandenen Wirbelwind in Stockbridge, Massachusetts, erzählt der ehrenwerthe Theod. Dwight: „Im Allgemeinen war die Luft ganz frei von Feuer und Rauch bis auf das, was in der Säule sich sammelte. Die gewundene Rauchsäule über der (150 bis 200 Fuss hohen) Feuersäule drehte sich nicht nur wie diese mit der erstaunlichsten Geschwindigkeit, sondern sie schwankte auch wegen ihrer grossen (bis über den Gesichtskreis hinausreichenden) Höhe anmuthig in der Luft, wodurch die Schönheit und Pracht der Erscheinung sehr erhöht wurde. Die Stärke des Wirbelwindes war so gross, dass junge Bäume von sechs oder acht Zoll Dicke vom Boden aufgerissen und vierzig oder funfzig Fuss hoch emporgetragen wurden.“ Dwight wohnte eine halbe Englische Meile von der Brandstätte entfernt, und seine Aufmerksamkeit wurde durch ein lautes und anhaltendes, donnergleiches Gebrüll auf die Feuersäule gelenkt. Letztere war am Boden breit, spitzte sich aber plötzlich zu einem viel kleineren Querschnitt zu.

Des lauten Brüllens und einer Art von knatterndem und beinahe beständigem Donnern, welches er ähnlich bei einem heftigen Hagelsturm gehört habe, thut auch William Akin von Greenbush bei Albany sehr nachdrücklich Erwähnung, indem er eine Flammensäule schildert, welche beim Anzünden des Reisigholzes von 25 Acres Waldland an einem warmen und völlig ruhigen Sommertage sich bildete. Dieses merkwürdige Getöse, welches wohl mehrere Meilen weit hörbar war, war von lauten, dem Flintenknall ähnlichen Explosionen begleitet. Die schnelle Wirbelbewegung der Säule übertraf alle Vorstellungen von der Geschwindigkeit des Windes. Auch hier schien die obere Rauchsäule sich so hoch zu erstrecken wie das Auge reichte; manchmal

nahm sie eine Wellenform an. — Redfield selbst macht auf die Analogie dieser säulenförmigen Wirbelwinde mit denjenigen aufmerksam, welche sich so oft über den Kratern thätiger Vulkane bilden, und weist hin auf die offenbare Identität der erzeugenden Ursachen.

Sehr auffallend ist, dass bei diesen Waldbränden Redfield's sich eine einzige rasch wirbelnde Rauch- und Flammensäule bildete, während bei Olmsted's Rohrbrande viele, schnell wechselnde Wirbel von mannigfacher Form gleichzeitig auftraten, und während bei zahlreichen anderen, nicht minder grossen Bränden nichts Derartiges bemerkt ist. Von einem blossen Unterschiede der Temperatur des Feuers dürften diese Abweichungen kaum herrühren; denn Olmsted sagt ausdrücklich, die Hitze des Rohrbrandes habe ihn genöthigt, sich aus seinem anfänglichen Standort, in 200 Yards Abstand, auf einen anderen, 300 Yards (900 Fuss) entfernten zurückziehen, und selbst dort war die Hitze für die meisten Anwesenden noch zu gross. Wir glauben eher, dass die warme und vollkommen ruhige Luft, welche nach ausdrücklicher Angabe bei jedem der Redfield'schen Waldbrände anfangs herrschte, das Entstehen einer einzigen Wirbelsäule begünstigt hat, während bei dem Rohrbrande ein Nordost herrschte, der ganz oben stark genug blieb, um die Rauchsäulen plötzlich umzubiegen und fortzuführen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die von Olmsted beschriebenen, rasch wechselnden Wirbelwinde viel häufiger bei Bränden auftreten, als sie beachtet werden. Der Rohrbrand war eben der Beobachtung besonders günstig durch das tiefe, prachtvolle Roth der Flamme und seine dichten, schwarzen Rauchmassen, zu welchen nach Olmsted die lichtrothe Flamme und der weisse Rauch der im Röhrigt zerstreut stehenden Bäume einen lebhaften Contrast bildeten.

Leider haben wir keine Abbildung von den eben geschilderten grossen Waldbränden; dagegen besitzen wir eine sehr schöne Zeichnung von einem der von Redfield erwähnten Wirbelwinde über thätigen Vulkanen. Wir verdanken dieselbe dem Geologen Prof. von Seebach, und sie stellt eine Aschentrombe dar, welche am 8. April 1866 während der Eruption des Vulkans von Santorin auftrat. Als Augenzeuge schildert v. Seebach[3a]) sie wie folgt: „Plötzlich stieg, begleitet von dem gewöhnlichen Donnern, die Aschen- und Dampfsäule in Form einer gewaltigen Dampfschraube auf... Deutlich konnte ich selbst aus dieser Entfernung (von



von Seebach's Aschentrombe von Santorin.

3390 Metern) mit einem Marineglas von viermaliger Vergrösserung die einzelnen Rauchfäden erkennen, aus denen sich das gewaltige Tau zusammendrehte. Der Nordwind liess die Trombe nicht gerade aufsteigen, sondern neigte sie ein wenig nach Süden. Das ganze Phänomen dauerte so lange, dass ich Zeit hatte, meinen Borda'schen Kreis zur Hand zu nehmen und seine Höhe zu messen.“ Letztere betrug bis an den Punkt, wo die Schraube sich in gewöhnliche Dampfwolken auflöste, nicht weniger als $580,_7$ Meter.

Solche durch Feuer erzeugte Wirbelwinde erinnern nicht blos wegen der Uebereinstimmung der Ursachen und wegen ihrer erstaunlichen Drehgeschwindigkeit lebhaft an diejenigen über ausbrechenden Vulkanen, sondern sie sind auch gleich diesen manchmal von heftigen Gewittern begleitet. Der Americanische Meteorologe Espy [4]), welcher die Stürme durch die Dampfkraft feuchter aufsteigender Luftmassen sich hervorgerufen denkt, hat mehrere höchst interessante Berichte von Regenfällen, die durch grosse Feuer entstanden, gesammelt. Wegen ihrer grossen Bedeutung für unsere später zu entwickelnde Ansicht von der Entstehung der Wirbelwinde führen wir von denselben denjenigen des Americanischen Officiers George Mackay hier im Auszuge an.

Mackay war im Jahre 1845, namentlich auch während der regenlosen Monate April, Mai und Juni, mit Vermessung der Atlantischen Küste von Florida beschäftigt, wobei ihm nicht selten ausgedehnte Schilfgras-Weiher (saw-grass ponds) sehr hinderlich waren. Nun lag unter den fünf bis sechs Fuss hohen frischen Gräsern oft eine zwei bis vier Fuss mächtige Schicht abgestorbener, trockener Gewächse, die äusserst leicht entzündlich war. An einem vollkommen windstillen und drückend heissen Apriltage, als es seinen Leuten besonders beschwerlich wurde, durch einen solchen, wohl 500 Acres grossen Weiher die Vermessungslinie hindurchzuschneiden, beschloss Mackay, mit Feuer sich Bahn zu brechen. Damit die zu passirenden Wälder nicht ergriffen würden, zündete man das Gras an zwei Seiten zugleich an. In wenigen Minuten „fegte“ eine Staunen erregende Flamme über die ganze, vorausbezeichnete Fläche hin, worauf die Linie hindurchgelegt wurde. „Noch aber“, schreibt Mackay, „waren wir nicht mehr als vierzig Kettenlängen vorgerückt, so erhob sich eine angenehme Briese und kühlte die Luft; und alsbald glitzerte auch ein erfrischender Regenschauer in den hellen Sonnenstrahlen.

Alles das veranlasste nur die Bemerkung, dass es lange nicht geregnet habe; ich selbst bemerkte weder Rauch noch die Bildung einer Wolke.“

Nach einigen Tagen, als die Windstille und die intensive Hitze wieder eingetreten waren, stiess Mackay auf einen grösseren Schilfgras-Weiher als je zuvor, der wahrscheinlich noch nie gebrannt hatte. Mackay's Gehülfe, Capitain Alexander Mackay, der Kenntniss hatte von Espy's Theorie der Wolkenbildung durch aufsteigende Luftströme, auch bei einem neulichen Brande die Bildung einer Wolke über dem Rauche beobachtet haben wollte, schlug vor, diese vorzügliche Gelegenheit zur Prüfung jener Theorie zu benutzen. Als Freund eines Scherzes wollte er zugleich die abergläubischen Neger unter ihren Begleitern in Erstaunen setzen und sie glauben machen, er könne Wolken ansammeln und Regen machen. Mackay stimmte zu; doch lassen wir diesen jetzt selbst den Eindruck schildern, den die nun folgende charakteristische Scene auf die Theilnehmer machte.

„Als unsere ganze Gesellschaft am Halteplatze versammelt war, machten Klagen über die ausserordentliche Hitze die Runde, und Alle waren einstimmig, dass ihnen ein so schwüler Tag noch nicht vorgekommen sei. Diesen Klagen folgten Wünsche nach einem „kleinen Lufthauch“ und „wenigen Tropfen Regen“. Da rief der Capitain: „Durchschneidet diesen Weiher, und ich bringe „Euch mehr als nur wenige Tropfen, ich gebe Euch einen reich„lichen Regenschauer, und dazu eine Briese, die Euch munter „machen soll. Kommt, Bursche, zugeschnitten! und wenn Ihr „fertig seid, so sollt Ihr Euch den Staub mit einem kalten Bad „vom Himmel abwaschen!“ Sie starrten empor und ringsherum: keine Wolke, so breit wie eines Mannes Hand, war zu sehen. Und sie blickten wieder mit gutmüthigem, ungläubigem Grinsen auf den Capitain. „Hoho! hehe! Capitain Wolken machen, aus „Nichts! hihi! — Bringen Capitain Wasser all' diesen Weg von „der See? Hoho! hih!“ Worauf der Capitain sehr ungehalten that.

„Um seinen Sieg zu beschleunigen, befahl ich das Gras anzuzünden. Die Flammen erhoben sich sofort bis über die höchsten Bäume, eine dichte Rauchsäule stieg spiralförmig gewunden (spirally) empor, das Gras verschwand und wir passirten. Als die Rauchsäule verging und die Wolke sich zu bilden begann, zog der Capitain einen weiten Kreis rings um sich im Sande und stellte sich in die Mitte, phantastische Figuren machend und aus ge-

brochenem Französisch kabbalistische Phrasen drechselnd. Noch blieb die Wolke unbemerkt; alle Augen waren auf den Capitain geheftet, welcher dastand auf die Erde starrend und dort Teufelsfratzen zeichnend. Da auf einmal ein Rollen fernen Donners! jeder Blick wandte sich augenblicklich nach oben: eine Wolke breitete sich dort aus. Der Donner nahm zu, die Blitze leuchteten lebhafter, die Kniee der Neger schlugen vor Angst zusammen; schon fiel der Regen, und in Strömen, obgleich nach allen Seiten der reine Himmel unter der Wolke sichtbar war. Der Capitain behauptete mittlerweile seine mystische Haltung und setzte seine wilden, seltsamen Evolutionen fort. Einige der Weissen, eingeweiht in den Schwank, fielen auf die Kniee, und ihnen folgten die Neger, deren Furcht wuchs wie der Sturm heftiger wurde. Mit gefalteten Händen hefteten sie stiere Blicke der Scheu und der Abbitte auf den Capitain. Kurz, die Scene stellte einen vollständigeren Triumph der Forschung über die Unwissenheit dar, als ich irgendwo im neunzehnten Jahrhundert, zumal in unserer erleuchteten Republik, für möglich gehalten hätte.

„Wir zündeten oft hernach die Schilfgrasfelder an, und jederzeit, wenn kein Wínd sich regte, waren wir sicher, einen Regenschauer zu bekommen; und ich erkläre mit vollkommener Zuversicht, dass wir niemals sonst im April oder Mai einen Regenschauer hatten. Manchmal, wenn eine Briese ging, trug sie wohl den Rauch zum Horizont, wo dann Regen zu fallen schien....."

„Kürzlich wurde mir von A. H. Jones, United States deputy surveyor, mitgetheilt, dass er in Florida sehr viele Versuche ähnlicher Art und mit gleichem Erfolge ausgeführt habe, dass einige Jahre hindurch verschiedene Farmer, die mit diesen Versuchen bekannt wurden, das trockene Gras zur Zeit der Kornsaat anzuzünden pflegten, um Regen hervorzubringen, und dass sie gemeiniglich Erfolg hatten, obgleich (weil jenes die trockene Jahreszeit ist) sonst bekanntlich kein Regen eintreten würde." —

Ausser diesem und anderen Berichten über ähnlich erzeugte Regenwolken führt Espy noch folgendes Zeugniss von M. Dobrezhoffer aus dessen uns unzugänglichem „Account of the Abiphones of Paraguay, vol. 3 p. 180" an: „Ich selbst habe Wolken und „Blitz aus dem Rauche über langem Gras und Binsen entstehen „sehen, wenn derselbe gleich einem Wirbelwinde davonfliegt; so „dass die Indianer nicht zu tadeln sind, wenn sie die Ebenen „anzünden, um Regen zu erzeugen. Sie haben nämlich die Er-

„fahrung gemacht, dass der dickere Rauch sich in Wolken ver-
„wandelt, welche Wasser ausströmen.“ —

Aus allen diesen verschiedenen Berichten von Olmsted, Redfield und Espy, sowie aus den Erscheinungen bei Vulkanausbrüchen ergiebt sich die Thatsache, dass die von grossen Brandstätten aufsteigenden Luft- und Rauchmassen oft eine heftig wirbelnde Bewegung annehmen, und dass sie, besonders an windstillen, heissen Tagen, sich manchmal zu einer einzigen, erstaunlich schnell rotirenden Säule vereinigen. Auch kommt es vor, dass die im Wirbelwinde mitgerissenen Wasserdämpfe (zu denen bei Mackay's Schilfbränden die mitverbrannten grünen Gräser sicher ihren Theil beigetragen haben) sich über der Rauchsäule verdichten zu Wolken, aus denen es regnet und wohl gar blitzt und donnert. Ganz analoge Erscheinungen werden wir bei den Wettersäulen und Wasserhosen kennen lernen, so dass jedem Unbefangenen die Frage sich aufdrängen muss, ob diese letzteren nicht ebenfalls aufsteigende Luft- und Dampfmassen sind, die gleich jenen Feuer- und Rauchsäulen um ihre Axe sich drehen.

Woher rührt aber die Kraft, welche bei den geschilderten Bränden die Flammen und den Rauch so heftig wirbelnd in der Säule umtreibt? Denn von selbst entsteht bekanntlich keine Bewegung. — Es ist dieselbe Kraft der Wärme, welche durch Ausdehnung die Luft und den Rauch zum Aufsteigen zwingt, welche so das atmosphärische Gleichgewicht stört, und veranlasst, dass die benachbarte Luft von allen Seiten zur Brandstätte heranströmt. Selbst bei vollkommen ruhiger Atmosphäre wird dieses Hinzuströmen nie ganz gleichmässig geschehen; die ungleichmässige Vertheilung des Brennstoffes, die ungleichen Temperaturen auf der Brandstätte selbst, auch wohl die wechselnde Höhe des Bodens und der ihn bedeckenden oder umgebenden Bäume und anderen Pflanzen sind daran schuld. Deshalb tritt leicht von Anfang an ein excentrischer Zufluss und damit eine schwache spiralförmige Bewegung in der aufsteigenden Luft ein. Die immer rascher nachströmende Luft folgt diesen ersten Spiralwindungen, weil sie in deren Richtungen den kleinsten Widerstand findet, und durch die wachsende Geschwindigkeit wird die Centrifugalkraft der Luftmassen, und damit zugleich die Anzahl der beschriebenen Windungen vergrössert. Gerade diese Fliehkraft wiederum ist es, welche dem Zuströmen von Luft in einer zu den Windungen senkrechten Richtung entgegenwirkt. Aber ganz verhindern kann

sie einen solchen, nicht in die Windungen einlaufenden Luftzufluss schwerlich, wenn die Terrain- oder die Temperaturverhältnisse auf der Brandstätte rasch andere werden. Solche Aenderungen mögen dann eine Verminderung und unter Umständen sogar solche Umkehrungen der Drehbewegung hervorrufen, wie Olmsted sie beobachtet hat. — Wie leicht übrigens derartige Drehbewegungen aus unmerklichen Ursachen entstehen, zeigt sich recht deutlich an den Wirbeln von Wasser, welches man aus einer Bodenöffnung eines flachen Gefässes ausfliessen lässt.

Jene heftige Rotationsbewegung wird demnach den Rauch- und Feuersäulen mittelbar durch die ausdehnende Kraft der Wärme ertheilt, welche die Luft emportreibt; sie entsteht unmittelbar auf Kosten der aufwärts gerichteten Bewegung, insofern dieser nicht mehr die ganze Verbrennungswärme zu Gute kommt. Gleichwohl muss die Drehbewegung indirekt die vertikale Geschwindigkeit des wirbelnden Luftstromes wesentlich vergrössern, weil durch die Centrifugalkraft das Hineintreten der kälteren, oberen Luftschichten in den Strom ganz oder theilweise verhindert und so die Masse der aufwärts getriebenen Luft verkleinert wird. Wir wissen ja, dass durch rasch strömende Wasser-, Dampf- oder Luftstrahlen seitlich eine starke Saugwirkung ausgeübt wird, welche bei den pneumatischen Gebläsen und namentlich bei den, anstatt der Pumpen eingeführten Dampf-Injectoren sogar in ausgedehnter Weise nutzbar gemacht wird. Diese Saugwirkung tritt auch bei allen, gar nicht oder langsam rotirenden Rauchsäulen ein, und führt ihnen gewöhnlich so rasch und massenhaft kältere Luft zu, dass ihre aufsteigende Bewegung in kurzer Zeit, selbst bei ganz ruhiger Atmosphäre, zu erlahmen pflegt. Die geheimnissvolle Bohrkraft, mit welcher, wie Redfield meint, die rotirenden Rauch- und Feuersäulen die Luftschichten durchsetzen, findet so eine natürliche und einfache Erklärung. Und zum Beleg erinnern wir noch einmal an die Erscheinung, welche Olmsted bei seiner dritten Art von Wirbelwinden beobachtete. Rotirten dieselben schnell, so dehnte sich der dunkle, aus Rauch bestehende Zwischenraum nach oben hin aus, und erstickte dort wohl gar völlig die Flammen; bei langsamerer Bewegung (wenn also die atmosphärische Luft leichteren Zutritt hatte) verkürzte er sich bis auf eine Linie oder verschwand gänzlich.

Erster Abschnitt.

Schilderung der Wettersäulen oder Land- und Wasserhosen.

Eine sehr bedeutende Literatur über die Wettersäulen oder Tromben, Wind- und Wasserhosen, Land- und Staubsäulen, Wirbelwinde, und wie diese Naturerscheinungen sonst noch genannt werden mögen, hat sich in unserem Jahrhundert angehäuft; und doch gehören sie nach E. E. Schmidt, dem Verfasser unseres besten, erst 1860 erschienenen Lehrbuches der Meteorologie, noch immer zu den räthselhaftesten Erscheinungen. Entstehen sie, wie z. B. de Maistre, Redfield und Oersted behaupten, durch Zusammentreffen entgegengesetzter Windstösse, sodass die Drehbewegung das Ursprüngliche, ihre oft beobachtete Saugwirkung dagegen eine secundäre Erscheinung ist? Oder sollen wir sie mit Brisson, Peltier, Becquerel und Hare für Wirkungen der statischen Electricität halten, welche zwischen ihren Trägern, den Wolken und der Erdoberfläche, zunächst einen vertikalen Luftstrom erzeugt, der sich dann dreht? Oder hat vielleicht Espy Recht, welcher sie schlechthin für aufsteigende Luftströme erklärt, die ihre Energie der Dampfkraft mitgerissener und sich verdichtender Wasserdünste verdanken? Oder folgen wir dem wenig beachteten Belt, nach welchem die untersten Luftschichten vom sonnigen Boden aus erhitzt werden, bis sie leichter sind als die oberen, und plötzlich im heftigen Strudel sich aufwärts einen Weg bahnen?

Nur eine sorfältige Prüfung der Umstände, unter denen die Wettersäulen aufzutreten pflegen, und der sie begleitenden Erscheinungen kann uns lehren, ob diese verschiedenen Ansichten

das Entstehen der Tromben befriedigend erklären, oder ob wir gezwungen sind, uns nach einer anderen Erklärung umzusehen. An diese Prüfung können wir mit dem angenehmen Bewusstsein gehen, dass uns über die Wettersäulen ein grösseres Beobachtungs-Material sowohl, als auch eine grössere Anzahl von scharfsinnigen Ideen bedeutender Gelehrter vorliegen, als jedem der vorhin genannten Autoren. Ausser einer Anzahl, z. Th. gelegentlich anzuführender Schilderungen einzelner Land- oder Wasserhosen haben u. A. die grösseren Arbeiten von Oersted [5]), Becquerel und Peltier [6]), Arago [7]), Martins [8]) und Muncke [9]) uns vorgelegen. Unter diesen ist die reichhaltigste und wohl auch unbefangenste die von Muncke, welche zugleich dem Deutschen Leser zugänglicher sein dürfte als alle übrigen. Auf diese umfangreiche Literatur gestützt, wollen wir jetzt die sehr mannigfaltigen Formen und ausserordentlichen Wirkungen der Wettersäulen schildern. Die fürchterlichsten unter ihnen, die Nordamericanischen Tornados, denken wir in einem späteren Abschnitt noch besonders zu besprechen.

Zu den häufigsten und einfachsten Erscheinungen dieser Art gehören in unseren Breiten die zierlichen Wirbelwinde, welche manchmal an stillen, sonnigen Tagen den Staub unserer Landstrassen und grossen Plätze plötzlich emporschleudern. Ich selbst habe solche aus einer Entfernung von 20 bis 30 Schritt gesehen, wie sie auf einmal in conischer Form sich zur Höhe von zwei oder drei Fuss erhoben und gleich Kreiseln rasch sich drehend über die Strasse liefen. Ihre Gestalt könnte ich nicht besser als durch No. 2 unseres Titelblattes darstellen. Der in ihnen aufgewirbelte Staub wurde, wenn sie plötzlich wieder vergingen, vom Luftzuge langsam fortgetragen. Von einander begegnenden Windstössen, durch welche diese Wirbel hätten erzeugt werden können, habe ich nicht das Geringste bemerkt, obwohl Büsche und Bäume ganz in der Nähe standen.

Die langgestreckte, schlauchartige Form von No. 4 unseres Titelblattes hatte eine Staubsäule, die ich im Sommer 1863 vor dem Casinogebäude in Zürich beobachtete. Die Luft war sehr ruhig und die Sonne strahlte heiss, als ganz unerwartet, ohne merkliches Geräusch etwa 50 Schritt vor mir der Staub sich von der chaussirten Strasse erhob, und in einer deutlich umgrenzten, vier bis fünf Fuss weiten Säule rasch wohl zwei- bis dreihundert Fuss hoch aufwirbelte. Diese senkrechte Säule bewegte sich sehr langsam und nur wenige Schritt weit von der Stelle, und lösete

sich schon nach etwa 30 Secunden vom Boden ab; den Staub habe ich noch mehrere Minuten lang beobachtet, wie er schnell immer weiter zum blauen Himmel emporstieg, bis er meinen Blicken entschwand. Auch oben war die Luft augenscheinlich sehr ruhig.

Als Knabe habe ich in meiner Heimath an der Elbmündung mehrmals derartige Erscheinungen wahrgenommen, und vielen Lesern ist gewiss schon Aehnliches aufgefallen. Derartige Wirbelwinde kommen in allen Erdtheilen vor: Clarke beobachtete sie in den Russischen Steppen; Bruce sah in den Wüsten Africa's „er„staunlich hohe Säulen von Sand, die sich bald sehr hurtig beweg„ten, bald mit majestätischer Langsamkeit fortrückten“, und Stephenson beobachtete wiederholt ähnliche, schnell rotirende Sandsäulen am Ganges, die sich in einem Falle bei 12 Fuss Durchmesser sogar bis in die Wolken erhoben. Den langsam fortschreitenden Staubsäulen, welche Lyons in Mexico wahrnahm, schreibt derselbe eine Höhe von 200 bis 300 Fuss zu; in Indien sah Lieutenant Fyers Sandsäulen von etwa 18 Fuss Durchmesser und mehreren hundert Fuss Höhe.[10]) Humboldt[11]) endlich beschreibt die analogen Wirbelwinde der Südamericanischen Steppen und Sandwüsten wie folgt: „Als trichterförmige Wolken, deren „Spitzen an der Erde hingleiten, steigt der Sand dampfartig „durch die luftdünne, electrisch geladene Mitte des Wirbels em„por, gleich den rauschenden Wasserhosen, die der erfahrene „Schiffer fürchtet“; er hält sie für erzeugt durch entgegengesetzte Luftströme, trotzdem er selbst als bemerkenswerth hervorhebt, „dass diese partiellen, entgegenstrebenden Luftströme nur bei all„gemeiner Windstille eintreten.“

Ueber die rotirenden Staubsäulen Australiens, die in der heissen Jahreszeit den Goldsuchern häufig ihre leichten Gezelte niederwerfen, berichtet uns Belt[12]): „Der Staub und die mitgerissenen Blätter lassen ihre schraubenförmige Bewegung nach oben deutlich hervortreten. Bisweilen stehen die Säulen still; gewöhnlich aber haben sie eine regelmässige horizontale Bewegung. Staubwolken umhüllen ihren Fuss, aus denen sie zu beträchtlicher Höhe emporsteigen, oft durch obere Luftströmungen aus ihrer lothrechten Lage abgelenkt. Besonders häufig sind sie in den Ebenen, wo bei mangelndem Baumwuchs die Sonnenstrahlen grosse Wirkung ausüben ....“

„Werden solche Luftwirbel aufmerksam beobachtet, so be-

merkt man, dass Luftströme von allen Seiten nach dem unteren Säulenende sich hinbewegen. Die Temperatur an der Erdoberfläche wird durch sie merklich erniedrigt. Wenn ich durch die ausgedörrten Ebenen reiste, sah ich häufig die Luft zittern über dem heissen Boden wie über einem Feuerheerde. Plötzlich erhob sich, vielleicht wenige Schritte von mir, ein Sturm im Kleinen; und wenn sein Ungestüm nach wenigen Minuten ebenso plötzlich sich legte, war das Zittern der Luft nicht länger bemerklich, und die Atmosphäre war weniger drückend. Immer von Neuem wiederholte sich derselbe Vorgang, bis der Schluss unvermeidlich wurde, dass jene Wirbelwinde die Canäle seien, welche die erhitzte Luft von der Erdoberfläche zu den höheren Regionen führen .... Ist einmal die Oeffnung erzwungen, so strömt die ganze erhitzte Luftschicht zu ihr hin und wird fortgerissen; die schwereren Schichten sinken nieder und pressen jene heraus."

Für diese Erklärung Belt's spricht sehr das bisher wenig beachtete Auftreten von Wirbelwinden über heisser Lava. Bei einer Besteigung des Vesuvs am 23. December 1832 sah Pilla[13]) auf dem Ende des nach Torre del Greco fliessenden Lavastromes eine gerade, rotirende, etwa 100 Fuss hohe und fünf Fuss breite Rauchsäule sich erheben, die nach viertelstündiger Dauer langsam sich auflöste und verschwand, und die er sich nicht zu erklären vermochte. Und der Französische Marine-Capitain Bailleul[14]) beobachtete im Juni 1850 auf der noch brennend heissen Lavafläche des Vesuvs fünf Wochen nach dem Ausbruch „kleine Tromben", die mächtig genug waren, um Bimsteinstücke fortzurücken; beim Ueberschreiten der Lavagrenzen rissen sie sogar manchmal von benachbarten Bäumen Laub ab. Hieher gehört auch eine Beobachtung, welche Hamilton am 30. Juni 1794 auf dem Vesuv, und zwar während des Ausbruches machte. Derselbe erzählt[15]): „Während ich auf dem Berge war, zeigten sich zwei „Wirbelwinde, denjenigen vollkommen ähnlich, welche auf dem „Meere Wasserhosen erzeugen. Der eine, der uns sehr nahe war, „machte ein sonderbares Getöse, hob eine Menge der feinsten „Asche in die Höhe, und bildete daraus eine hohe, spiralförmig „gewundene Säule, die wirbelnd mit grosser Geschwindigkeit gegen „den Berg Somma getrieben wurde, wo sie brach und sich zer„streute." Wer wird bei solchen Berichten nicht an die oben geschilderten, auf Brandstätten sich bildenden Wirbelwinde erinnert?

Wir sind bei den Staub- und Sandwirbeln so lange verweilt, weil sie von allen Land- und Wasserhosen wohl am häufigsten vorkommen, weil sie sich durch grosse Einfachheit der Erscheinung auszeichnen, und weil dennoch gerade sie den am meisten verbreiteten Erklärungsarten sich nicht fügen wollen. Selbst ein Humboldt (der übrigens gerade auf diesem Gebiete wohl kaum eine Autorität beanspruchen würde) kann mich nicht überreden, dass die von mir gesehenen zwei bis drei Fuss hohen Staubwirbel oder die mehrere hundert Fuss hohe Staubsäule durch entgegengesetzte Luftströme erzeugt worden seien, da von letzteren durchaus Nichts zu bemerken war. Und für die Annahme, dass electrische Kräfte in solchen Staubwirbeln wirksam seien oder dieselben gar hervorrufen, fehlt uns jeglicher Anhalt. Bei den Wirbelwinden über glühender Lava oder kürzlich ausgeworfener Asche wird man gewiss nicht an eine Erzeugung durch Electricität denken; wie aber unterscheiden sich diese von den Wirbelwinden der erhitzten Steppen und Sandwüsten? Diese Einwürfe gegen die sogenannte electrische und die Wirbel-Hypothese, welche bei kleinen Staubwirbeln ungehoben bleiben, behalten so durch alle Zwischenstufen hindurch auch für die grössten Sandsäulen ihre Geltung.

Doch schildern wir jetzt die complicirteren Erscheinungen der Land- und Wasserhosen, Tromben oder, wie wir sie gewöhnlich nennen wollen, „Wettersäulen". Nicht selten wird als Vorläufer derselben, ähnlich wie bei den Gewittern, eine drückende, schwüle Luft erwähnt; leider aber wird in den meisten Fällen gar Nichts über die Temperaturverhältnisse der Luft angegeben. Gleich den Gewittern kommen übrigens die Wettersäulen viel seltener in den kalten als in den wärmeren Monaten vor. Auffallend häufig geht ihnen Windstille voran. In dem Peltier'schen Verzeichniss[6]) von 116 Land- und Wasserhosen ist bei 83 freilich Nichts über den Wind bemerkt; aber von den übrigen 33 haben nicht weniger als 20 die Notiz „Windstille" (meistens „calme parfait, complet" oder „calme autour"), bei fünf anderen ist der Wind nur „leicht oder schwach", bei einer „regelmässig" gewesen; endlich bei den übrigen sieben bewegte die Trombe sich selbst oder umgerissene Bäume, Mauern, Gebälk gegen den Wind, dessen Stärke jedoch nicht angedeutet ist. Von den Wasserhosen behauptet der vielerfahrene Horner[16]) ausdrücklich, dass sie nie Wirkung eines allgemeinen Windes seien, vielmehr um sie her meistens Windstille herrsche.

Die äussere Form der Wettersäulen ist sehr mannigfaltig. Die Landhosen werden oft als ungeheure Trichter geschildert, deren Spitze nach unten gekehrt ist wie bei den conischen Staubwirbeln, noch häufiger wohl als langgestreckte Schläuche oder Säulen, die meistens etwas geneigt oder gekrümmt zum Himmel emporsteigen. Bei den Wasserhosen, deren Form sehr oft genau beobachtet werden konnte, wird gewöhnlich ein aus dem Meere sich erhebender Fuss, ein gerader oder gekrümmter Schlauch und die Wolke unterschieden, in welche der Schlauch oben übergeht; das Ganze pflegt sich durch seinen wässerigen oder wolkenartigen Inhalt scharf gegen die umgebende Luft abzugrenzen. Die Abbildungen gleichen bald den Nos. 4 unseres Titelblattes, bald der No. 1, wenn deren mittlerer, schlauchförmiger Theil lang gedehnt wird. Manchmal fehlt der mittlere Theil des Schlauches, oder vielmehr er wird nicht wahrgenommen, weil er durchsichtig ist; die Wasserhose erscheint dann als zwei, einander mit ihren spitzen Enden entgegengekehrte Schläuche oder Kegel. Zuweilen fehlt der Fuss gänzlich, und dann wird die Erscheinung wohl mit einem aus der Wolke herabhängenden, spitz zulaufenden Horne verglichen; Baussard[17]) endlich hat oft bei fast wolkenfreiem Himmel wahrgenommen, dass Wasserhosen sich zuerst aus dem Meere erhoben und die zugehörigen Wolken, aus denen es hernach manchmal heftig regnete und blitzte, erst erzeugten oder doch vergrösserten. Die auf unserer Tafel nach einer Zeichnung des Schiffs-Capitains Maxwell[18]) abgebildeten Wasserhosen sollen dieselben bei ihrem Entstehen (*A*), in ihrer vollen Wirksamkeit (*B*) und beim Verschwinden (*C*) darstellen. Bald sieht man übrigens den Fuss zuerst sich bilden, bald das obere Ende des Schlauches, bald wieder beide zugleich. Der Fuss der Wasserhosen ist meistens von Dünsten und aufspritzendem Wasser umgeben, das untere Ende der Landhosen häufig von Staubwolken.

Horner schreibt den Wasserhosen einen Durchmesser zu von zwei bis zu 200 Fuss und eine Höhe von 30 bis 1500 Fuss. Wir werden sogleich Landhosen kennen lernen, deren unteres Ende einen Durchmesser von 150, ja sogar von mehr als 1000 Fuss gehabt hat, und unter den Americanischen Tornados kommen sogar solche vor, die Landstriche von 5000 und mehr Fuss Breite verwüsten. Uebrigens ist dieser untere Durchmesser oft sehr veränderlich. Nach Oersted wird den meisten Wettersäulen eine Höhe von 1500 bis 2000 Fuss beigelegt, einige jedoch konnten



Maxwell's Zeichnung von Wasserhosen.

wegen der Entfernung, aus der sie gesehen wurden, nicht unter 5000 bis 6000 Fuss hoch gewesen sein, und wenn sie manchmal nur zu 30 Fuss geschätzt wurden, so muss der Fuss für die ganze Säule angesehen sein.

Verschiedenartige Bewegungen wurden bei allen gut beobachteten Wettersäulen wahrgenommen, vor Allem eine fortschreitende. Die Geschwindigkeit derselben ist sehr verschieden: von derjenigen eines Fussgängers an bis zu der ungeheuren von 3000 Fuss in der Minute. Ganz stillstehende Tromben sind äusserst selten; wir kennen von einer solchen nur ein Beispiel, die Wettersäule von Blanquefort bei Bordeaux vom Jahre 1787. Die Geschwindigkeit ist veränderlich und häufig unten eine andere als oben, so dass auch die Neigung der Axe sich ändert; die vom Fusse durchlaufene Bahn ist bald geradlinig, bald gekrümmt, selten zickzackförmig. Manchmal überspringen die Wettersäulen in ihrem zerstörenden Laufe ganze Strecken Landes, indem sie oben in der Luft ihren Weg fortsetzen und sich weiterhin wieder bis auf den Boden herabsenken; so die Trombe von Assonval (26. Juli 1822) und die von Monville-Malaunay bei Rouen (19. August 1845).

Eine Drehbewegung, oft eine ungemein heftige, ist in vielen Wettersäulen beobachtet worden; so bei 29 Tromben des Peltier'schen Verzeichnisses, welches dagegen 22 nicht rotirende enthält. Nicht selten kann diese Drehung aus den Richtungen, in welchen die umgerissenen Bäume niedergestürzt sind, nachträglich festgestellt werden; sie scheint bald gegen die Sonne, bald mit ihr zu gehen. Dazu kommt eine starke vertikale Bewegung der Luft in der Säule, so dass die Drehbewegung vielfach als eine schraubenförmige bezeichnet wird. In 15 Tromben von Peltier sah man das Wasser aufwärts, in dreien*) abwärts steigen; bei drei anderen sah man unter der Trombe die Fläche des Wassers vertieft, bei vierzehn hingegen wurden Dünste, Sand oder schwere Gegenstände, sogar mehrmals Menschen emporgehoben. Im Ganzen liess sich also bei 29 dieser Tromben eine aufsteigende, bei höchstens sechs eine abwärts gerichtete Bewegung constatiren. Die aufsteigende ist überhaupt viel häufiger. Vielfach hat man ein von allen Seiten gegen den Fuss der Trombe

*) Peltier schreibt 8 statt 3; er muss sich aber verzählt oder verdruckt haben.

gerichtetes Heranströmen der Luft wahrgenommen, oder dasselbe nachher aus der Lage der niedergedrückten Saaten oder umgeworfenen Bäume deutlich erkannt. So waren nach Pouillet [19]) auf der geradlinigen Bahn, welche die vorhin erwähnte Trombe von Monville-Malaunay durchlaufen hatte, drei von Süd nach Nord laufende Striche zu unterscheiden: in dem mittleren, etwa 100 Meter breiten waren viele grosse Apfelbäume von 1 Meter Umfang mit furchtbarer Gewalt 50 Meter weit nach Norden fortgeschleudert, in den seitlichen, etwa 250 Meter breiten Strichen dagegen waren die Bäume nur umgeworfen, und zwar auf beiden Seiten gegen die Bahnmitte hin, also nach entgegengesetzten Richtungen. Eine Drehbewegung der Trombe war aus diesen Verwüstungen nicht zu erkennen.

Electrische Erscheinungen begleiten vielfach die Wettersäulen; so waren 41 von Peltier's 116 Tromben von Blitz, Donner oder Lichterscheinungen begleitet, bei 14 derselben fiel Schnee oder Hagel.*) Heftige Regengüsse findet man oft bei Wettersäulen erwähnt, und es ist sehr bemerkenswerth, dass selbst dann, wenn man geglaubt hatte, das Seewasser deutlich zu den Wolken aufsteigen zu sehen, der nachfolgende Regen ganz süss war. — Wiederholt sind mehrere Tromben zugleich gesehen worden; so führt Peltier drei Beobachtungen von je sieben und eine von sechs gleichzeitigen Wasserhosen an. Auch folgen nicht selten mehrere auf einander.

Ueber die Aenderungen des Luftdruckes während des Auftretens der Wettersäulen liegen uns leider nur sehr wenige direkte Beobachtungen vor. In Rouen stand am 19. August 1845 das Barometer Mittags auf $757,_{25}$ mm, gegen ein Uhr auf $740,_{91}$ mm, sodass es um $16^1/_3$ Millimeter gefallen war, und um ein Uhr 15 Minuten warf am Houlme, 8000 Meter von Rouen, eine Windhose in wenigen Secunden 180 grosse Bäume nieder. [19]) Nach anderen Berichten hat dieselbe Trombe schon um 12 Uhr 35 Min. in Monville (15000 Meter von Rouen) drei Spinnereien verwüstet und in einer derselben 200 Arbeiter verschüttet. Die Trümmer dieser Gebäude fielen gegen ein Uhr in der Gegend von Dieppe massenhaft nieder, hatten also in weniger als 30 Minuten die ungeheure Entfernung von 32000 Meter ($4^1/_4$ Deutsche Meilen) zurückgelegt. Ein anderes Beispiel vom Fallen des Barometers

*) Peltier selbst zählt irrthümlich 16 statt 14.

überliefert uns Oersted.[20]) Bei der Stadt Eu hatte drei Tage lang das Barometer auf 28 Zoll 5 Linien gestanden, als es am 16. Juni 1775 Morgens sieben Uhr um $2^1/_2$ Linien fiel, worauf um 8 Uhr eine Trombe folgte; Mittags war der Barometerstand wieder der ursprüngliche. Hieher gehört auch wohl der plötzliche „Sturm“, welcher, wie Reid[10]) erzählt, am 21. Mai 1836 das Dampfschiff Tigris auf dem Euphrat zum Sinken brachte. Durch die Wüste näherte sich aus WSW., der leichten Briese gerade entgegen, eine dichte, schwarze Wolke. Sie bestand aus rothgefärbten Staubmassen, die zu einer niederhängenden Wolke emporstiegen und aus dieser mit grosser Gewalt unter heftigem Regen wieder herabstürzten. Während des Sturmes fiel das Barometer um $^2/_{10}$ Zoll, was für jenes Clima sehr viel ist; gleich nachher folgte wieder ruhiges Wetter. — Eine Art Saugwirkung, die auf eine Luftverdünnung in der Wettersäule hinweist, ist wiederholt constatirt worden; so liest man von Fenstern und selbst Hausmauern, die nach aussen herausgeworfen wurden, von Bett- und Sacktüchern, die der Wirbel in enge Mauerspalten hineingezwängt hatte, von aufwärts gerissenen Dächern und Zimmerdecken und sogar von aufgebrochenen Fussböden.[20])

Als häufiger Begleiter der Wettersäulen wird ein manchmal betäubender Lärmen angegeben, ein Rollen, wie von Lastfuhrwerken, ein Donnern, ein Rasseln wie bei heftigen Hagelstürmen, oder (besonders bei den Wasserhosen) ein Sausen und Pfeifen. Dieses Getöse ist jedoch nicht immer bemerkt worden; es soll abnehmen, wenn die Trombe vom Lande auf das Wasser übergeht. Ferner wollen Manche einen Schwefel- (Ozon-?) Geruch in der Säule wahrgenommen haben; auch ein seltsames Leuchten der Trombe oder ihres herabhängenden Endes wird uns wohl berichtet, und wie man Feuerkugeln oder Blitze in ihr gesehen habe.

Vor Allem aber machen die mechanischen Wirkungen der Wettersäulen einen überwältigenden Eindruck auf die meisten Beobachter, und daher rührt es gewiss, dass wir über so vieles meteorologisch Wichtigere so wenig Auskunft besitzen. Diese Wirkungen beschränken sich auf die verhältnissmässig schmale Fläche, welche der Fuss der Säule überstreicht. Leichte Gegenstände werden hoch in die Lüfte gehoben, Briefe und selbst Baumäste und Bretter sind wiederholt in meilenweiter Entfernung wiedergefunden worden, ja man hat grüne Blätter und Zweige

mit einer Eiskruste bedeckt wieder zur Erde fallen sehen. [21]) Häufig sind Häuser zu Dutzenden zerstört, Bäume zu Hunderten abgebrochen oder entwurzelt worden; ja man liest von ganzen Dächern, Schiffsmasten, starken Bäumen, die hoch durch die Lüfte entführt, von Menschen, ja sogar von Pferden und belasteten Böten, die emporgehoben, und von schweren Kanonen und Mörsern, die von der Stelle gerückt wurden. Beispielsweise möge die von Muncke angeführte Erzählung des Lampadius [22]) über die Wettersäule von Hainichen im Sächsischen Erzgebirge hier Platz finden.

„Am 23. April 1800 wechselte der Wind häufig seine Richtung; mehrere Gewitterwolken waren schon vorübergezogen, als um etwa vier Uhr Nachmittags, ungefähr eine halbe Meile vom genannten Orte, aus einer dicken Wolke ein langer nebelartiger Schlauch herabhing, der sich bald bis zur Erde herabliess, bald wieder zur Wolke hinaufgezogen wurde. Dabei bewegte sich die Wolke, der Schlauch senkte sich wieder bis zur Erde und strich mit unglaublicher Schnelligkeit, von Staub und Verwüstung begleitet, in einer Breite von etwa 60 Schritt binnen 7 bis 8 Minuten über eine Strecke von ungefähr einer Deutschen Meile fort. Alles was der Wirbel auf seiner Bahn traf, ward zerstört, während an seiner Grenze vollkommene Windstille herrschte; denn unter Anderem sah eine Bäuerin zu Dittersdorf aus ihrem Fenster eine benachbarte Scheune mit Geprassel einstürzen, ohne etwas vom Winde zu empfinden. In Arensdorf, auf dessen Feldern die Zerstörung durch Niedersinken des Schlauches den Anfang nahm, wurden die Häuser oder deren Dächer weggerissen, gewaltsamer aber wirkte das Meteor zu Dittersdorf, zerstörte das vor sechs Jahren neu erbaute Philippi'sche Gut, streuete die Scheune in Stücken umher, verrückte die Stallungen und zertrümmerte selbst das massive Wohnhaus, mit Ausnahme des linken Flügels, den es jedoch um drei Ellen weit fortschob. Das Dach und die Fruchtböden mit Getreide wurden in einen nahen Teich geschleudert, das Mauerwerk zerrissen, und selbst die Gewölbe widerstanden der Gewalt nicht, mit Ausnahme der Küche, wo die Bewohner einen Zufluchtsort der Rettung fanden. Das Federvieh wurde in der Luft umhergeworfen und dadurch getödtet, doch fand man an den Federn keine Spur von Versengung. Auf dem nächstfolgenden Gute riss der Wirbel drei Seitengebäude und zwei einzelne Häuser nieder, und brach sich dann gewaltsam eine Bahn durch den wenig ent-

fernten Wald. In einer Breite von 60 Schritt blieb kein Baum, kein Strauch verschont, sie wurden ausgerissen oder abgebrochen, und in einem Augenblicke war eine Allee durch den Wald hergestellt. Mehrere Bäume fanden sich bis an die Spitze abgeschält, einige etliche hundert Schritt über den Stigrisfluss fortgeschleudert. Auch über Etzdorf unweit des Städtchens Rosswein erstreckte sich die Verheerung, indem einige Häuser niedergerissen, andere abgedeckt und mehrere in der Strecke stehende Bäume, unter andern starke Ulmen und Linden, ausgerissen und zerbrochen wurden. Die wirbelnde Bewegung liess endlich nach und die Wolkensäule zerstreute sich, nachdem sie unter andern einen Knecht nebst seinen zwei Pferden aufgehoben und ersteren in einen Hohlweg, letztere in ein nahes Gebüsch geschleudert hatte."

Man muss nicht glauben, dass alle oder auch nur viele Wettersäulen solche Verwüstungen anrichten. Wir besitzen freilich eine Anzahl von ganz ähnlichen Schilderungen wie die des Lampadius; aber die meisten bekannt gewordenen Tromben begnügten sich damit, Staub oder Wasserdunst emporzuwirbeln, Heu, Wäsche, Kornähren weit fortzuschleudern, schwache Bäume zu knicken und die Menschen plötzlich zu erschrecken. Dabei ist nicht zu vergessen, dass kleine, unschuldigere Wirbelwinde selten in weiteren Kreisen bekannt gemacht werden.

Am unschädlichsten scheinen die Wasserhosen zu sein; wahrscheinlich werden durch Dunst und mitgerissenen Wasserstaub selbst kleinere leicht auffallend, und der Seemann, ohnehin auf Wind und Wetter aufmerksam, verfehlt nicht leicht die bedrohliche Erscheinung im Tagebuch zu notiren. Aus ziemlich allen Meeren ausser den Eismeeren haben wir Schilderungen von Wasserhosen, selbst in der Ostsee, auf mehreren Alpenseen und auf grösseren Flüssen, wie Elbe, Rhein und Mosel, sind sie beobachtet worden, doch kamen die Schiffe regelmässig mit dem blossen Schrecken davon. Wir müssen bis auf das Jahr 1674 zurückgehen, um eine Wasserhose zu finden, welche einem Schiffe ernstlichen Schaden zufügte; dieselbe ergiff an der Küste von Guinea während der Windstille ein Schiff von 300 Tonnen und 16 Kanonen am Steuerbord, zerbrach ihm Bugspriet und Fockmast und hätte es fast umgeworfen, wenn nicht der Wirbelwind es gleich darauf wieder auf die andere Seite geworfen hätte. [23]) Wenn uns dagegen berichtet wird, 1794 habe auf der Ostsee ein kleiner Einmaster durch eine Wasserhose einen Stoss erhalten, welcher fünf

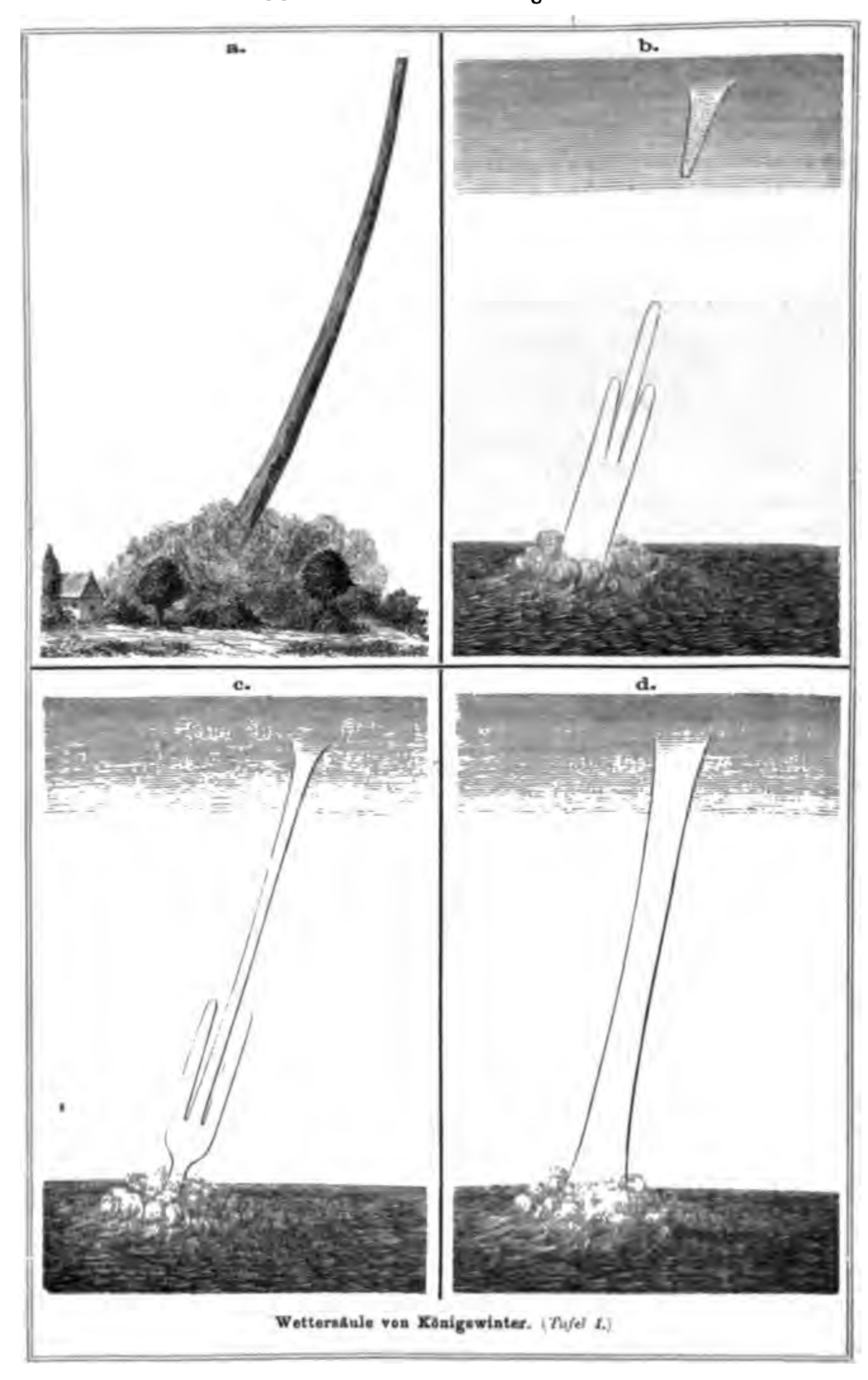
Menschen und den schweren Cajütentisch über den Haufen warf[24]), so will das nicht viel sagen; eine tüchtige, plötzlich anprallende Woge kann dieselben Wirkungen hervorrufen. Für die grosse mechanische Kraft mancher Wasserhosen scheint uns mehr der Umstand zu zeugen, dass man ringsherum das Wasser 12 bis 16 Fuss hoch hat aufspritzen, ja sogar zu noch bedeutenderer Höhe hat aufsteigen sehen. Und wenn auch, wie wir mit Horner, Redfield und anderen bedeutenden Meteorologen anzunehmen geneigt sind, nicht ein eigentlicher Wasserstrom, sondern Dunst, Schaum und Wasserstaub zu der Wolke emporsteigt, so muss doch das Wasser erst zu Schaum und Staub gepeitscht werden, ehe es hinaufgerissen wird.

Wir dürfen die allerdings sehr seltenen electrischen Wirkungen nicht übergehen, welche nach Peltier's Berichte [25]) die Trombe von Chatenay am 18. Juni 1839 begleitet haben. Gegen Mittag waren zwei Gewitter nach einander von Süden her über der Ebene von Fontenay aufgestiegen. Das zweite höhere donnerte noch, als plötzlich eine der unteren Wolken sich zur Erde herabsenkte und jede Explosion aufzuhören schien. Eine ungeheuere Anziehung trat ein; alle leichten Körper, aller Staub am Boden erhob sich zur Spitze der Wolke, ein anhaltendes Rollen ertönte, kleine Wolken tanzten kreiselnd um den umgekehrten Kegel und hoben und senkten sich rasch. Die Trombe zerbrach und entwurzelte eine Menge Bäume, durchschritt zerstörend ein Thal und blieb dann, unter dem ersten Gewitter angelangt, einige Minuten stehen. Darauf zurückkehrend verwüstete sie völlig den Park des Schlosses Chatenay, riss von diesem die Dächer und Kamine fort, und schleuderte Pfannen und Ziegel 500 Meter, ja sogar Bäume mehrere hundert Meter weit fort. Sie stieg dann gegen Norden den Hügel herab, warf an einem Teiche die Hälfte aller Bäume um und trocknete sie aus, tödtete alle Fische und zertheilte sich endlich in der Ebene, indem der obere Theil zu den Wolken sich erhob, der untere zerging. Die Bäume lagen meistens von Süden gegen Norden hingestreckt, gemäss der allgemeinen Richtung des Meteors; doch zeigten die Wipfel der seitlich liegenden Bäume nach der von der Trombe durchlaufenen Linie, also nach innen hin: rechts waren sie nach Westen, links nach Osten geneigt. Alle getroffenen Bäume waren ausgetrocknet, als wären sie 48 Stunden in einem 150 Grad warmen Ofen gelegen; ihr Saft war verdampft und ein Theil des

Stammes in Latten zerspalten. Peltier erklärt diese auffallende Erscheinung durch die Annahme, dass die Bäume „als Leiter für „Massen von Electricität für ununterbrochene, unaufhörliche Blitze“ gedient haben, dass durch diese electrischen Ströme Wärme entwickelt sei, welche augenblicklich alle Feuchtigkeit verdampft habe, und dass diese pflanzenförmigen Leiter durch die Dämpfe der Länge nach gespalten sein, worauf der Wirbel sie zerbrach. Er hält diese Trombe für eine Umwandlung eines gewöhnlichen Gewitters und stützt besonders auf sie seine Behauptung, dass alle Wettersäulen durch gegenseitige Anziehung der statischen Electricität einer Wolke und des Erdbodens entstehen.

Wenn eine Landhose eine Wasserfläche trifft, so wird sie zu einer Wasserhose, und umgekehrt. Dieses ist sehr oft und namentlich auch durch die auffallend zahlreichen Wettersäulen nachgewiesen worden, welche man im Rheinthale von Coblenz bis Bonn beobachtet hat. Wir besitzen von Nöggerath, Mohr und G. vom Rath ausführliche Schilderungen von vier verschiedenen Tromben jener Gegend, von denen drei den Rhein und eine die Mosel überschritten. Als ein besonders interessantes Beispiel möge die Wettersäule von Königswinter dienen, welche G. vom Rath [26], mit grosser Sorgfalt beschrieben hat.

In Bonn hatte man acht Tage lang vergebens sich nach Regen gesehnt, als endlich am 10. Juni 1858 um die Mittagszeit im Süden schwere Gewitterwolken aufstiegen, die sich in der Ferne unter Blitz und Donner entluden. Dort im Süden, bei Honnef oberhalb Königswinter, bemerkte man um dieselbe Zeit (1 Uhr 20 Minuten etwa) zuerst eine 2000 Fuss hohe Staubsäule, unten von aufgewirbelten Staub- und Erdmassen umgeben, die bald den Rheinspiegel erreichte (s. Taf. 1 *a*). Da erhob sich auf einer wohl 20 Schritt weiten Kreislinie schäumend das Wasser, in Kämmen und Strahlen emporspringend gleich einer Krone, deren weisse Schaumstrahlen 20 bis 30 Fuss hoch aufschossen. Die innere Kreisfläche war zu einem Schilde aufgewölbt und mit Schaum bedeckt, einer flachen Insel vergleichbar. Beim Fortschreiten stieg das Wasser höher empor, und in der Nähe des linken Ufers war die Krone schon in eine 40 bis 50 Fuss hohe Wassersäule verwandelt. Bald zeigte sich auch vor graublauen Wetterwolken eine kegelförmige Wolkenspitze wie ein glänzender Degen am Himmel, und verlängerte sich sichtbar nach unten. Sie war gegen die Spitze der rasch aufsteigenden Staubsäule gerichtet,

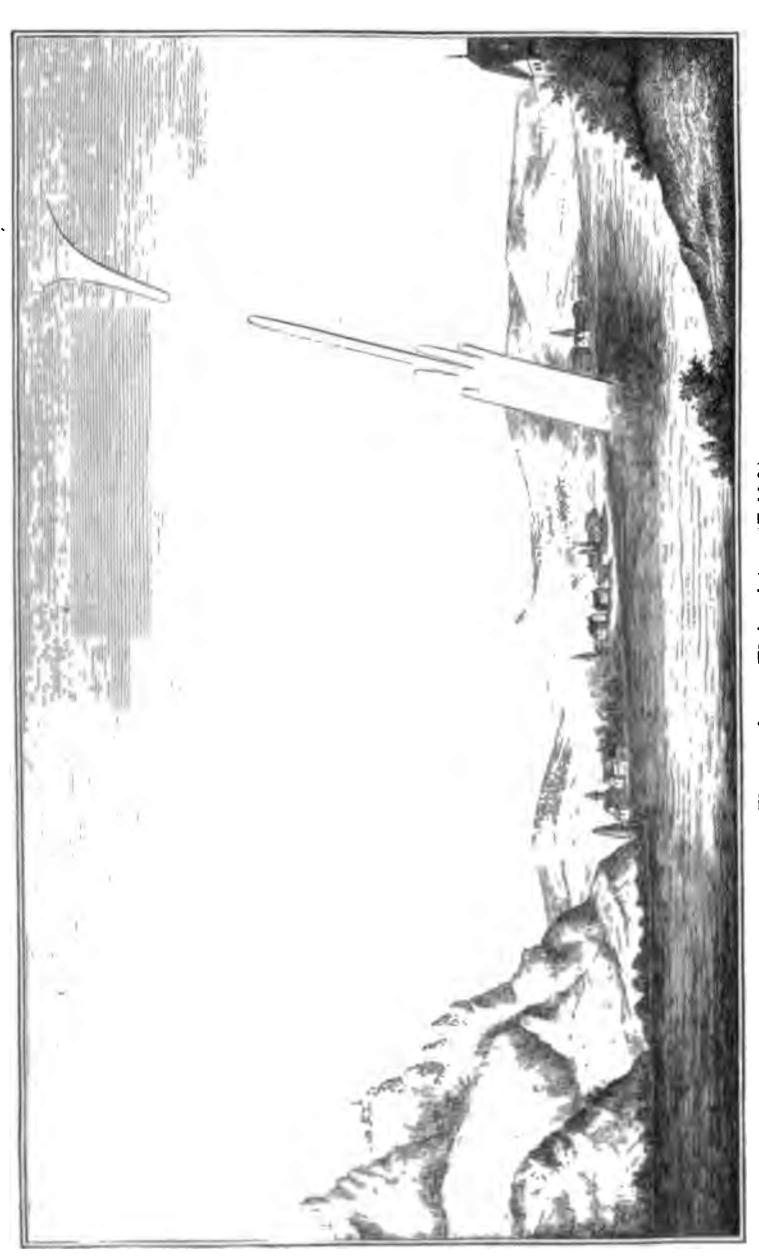


Wettersäule von Königswinter. (*Tafel I.*)

in welche sich mittlerweile auf dem linken Rheinufer (bei Mehlem) die Wasserhose wieder verwandelt hatte. Diese Sandsäule überragte den Drachenfels weit an Höhe, maass also über 850 Fuss. Die Gewalt der Trombe wuchs, sie nahm eine erschreckende Gestalt an, so dass die Schiffe ihre Anker fallen liessen und selbst in Nieder-Dollendorf, 25 bis 30 Minuten entfernt, einzelne Bewohner aus ihren Wohnungen in's Freie eilten.

In starkem Bogen schritt sie wieder dem Rheine zu, und mit vergösserter Gewalt sprang der Wirbel abermals auf das Wasser. Dieses schien weiss schäumend hoch aufzusieden, und plötzlich erhob sich aus dem wogenden Schaume eine Masse von Wasser und Dunst fast senkrecht in drei bis fünf Strahlen, deren mittlerer sich der weissen, degenförmigen Wolke näherte (Tafel 2 und Tafel 1, *b*). Beide Spitzen trafen zusammen, „und so wurde das Wasser aus dem Strome in die Wolke gezogen" (Tafel 1, *c*). Auf einer Untiefe des Rheines vereinigten sich die seitlichen Strahlen mit der Hauptsäule, die nun wie ein Riesen-Obelisk auf dem Rheine schwebte (Tafel 1, *d*). Als sie bei Rhöndorf wieder das rechte Ufer erreichte, fielen die schwereren Wassertheile wie Fetzen herunter von der aufsteigenden Schaummasse, welcher dunkler Staub und Sand folgte, durch eine horizontale Linie scharf von ihr geschieden. Indess die Schaummasse gänzlich in den Wolken verschwand, näherte sich die Wettersäule dem Drachenfels. Ihre Gewalt nahm ab und ein wolkenbruchartig herabstürzender, mit Hagel gemischter Regen entzog sie endlich den Blicken des Beobachters. Vom Drachenfels aus jedoch sah man, wie die Säule vom Boden sich abhob, und die aufgewirbelten Stoffe in den oberen, trichterförmig gestalteten Theil der Trombe aufgezogen wurden. Die ganze Erscheinung dauerte etwa 35 Minuten; die durchlaufene Bahn war 1300 Ruthen lang und demnach mit einer Geschwindigkeit von etwa 450 Fuss (140 Meter) per Minute durchlaufen worden.

Mehrere unbefangene Beobachter der Wasserkrone haben an derselben eine Drehung mit der Sonne wahrgenommen. An beiden Ufern war die Bahn des Fusses meistens durch niedergedrückte Saaten bezeichnet. Ihre Breite mochte fünfzig Schritt betragen, wuchs aber auf das Doppelte und Dreifache, wo vor Mehlem die Curve beschrieben wurde. Nur in der Mitte lagen die Halme genau mit dem Zuge, an den Seiten mehr der Mitte zugewandt. Hieraus und aus der schildförmigen Erhebung im Innern der



Wettersäule von Königswinter. (*Tafel 2.*)

Wasserkrone glaubt vom Rath auf eine Luftverdünnung im Innern des Zuges schliessen zu dürfen. Ausserhalb des grossen Bogens am linken Ufer lagen die Saaten in mehreren hundert Schritt Entfernung (also ausserhalb der eigentlichen Bahn) gerade gegen den Mittelpunkt des Halbkreises gerichtet. Es musste sich die Luft von allen Seiten senkrecht gegen den umkehrenden Strom bewegt haben. Kornblumen und Halme wurden, ohne Zweifel in grosser Höhe, bis über den Rhein getragen und fielen hernach mit dem Regen auf ein Schiff herab.

Wir könnten noch viele interessante Schilderungen von Wettersäulen anführen, wenn wir nicht fürchteten, die Geduld des Lesers zu ermüden. Für unsere Zwecke reichen die obigen aus und wir verweisen deshalb auf die früher genannten Gelehrten. [5—9]

Zweiter Abschnitt.

Ursachen und Entstehung der Wettersäulen.

Die Erklärung der mannigfaltigen und wechselnden Erscheinungen, welche die Wettersäulen begleiten, ist keine leichte Aufgabe. Das plötzliche Erscheinen der Trombe inmitten der Windstille und ihr ebenso unerwartetes Verschwinden, ihre verschiedenen, rasch veränderlichen Formen, ihr bald pfeilschnelles bald langsames Fortschreiten, die in ihr auf- oder niedersteigenden Luftströmungen, ihre bald heftige, bald ganz unmerkliche Drehbewegung; dann die Aenderungen des Luftdruckes, die begleitenden Gewittererscheinungen, die oft folgenden Regengüsse und Hagelwetter, das unheimliche Rollen, Heulen oder Rasseln; endlich ihre bald unbedeutenden, bald wahrhaft furchtbaren mechanischen Wirkungen, denen sich in einzelnen Fällen electrische angereiht zu haben scheinen: Alle diese Erscheinungen sind für uns ebenso viele, erst zu lösende Räthsel. Sehen wir zunächst, ob und wie weit sie durch die älteren Hypothesen erklärt werden können.

Peltier [6]) hat eine Liste von 19 Autoren zusammengestellt, welche sich die Tromben auf verschiedene Art aus Wirbelwinden entstanden denken. Die gewöhnliche Vorstellung ist die, dass zwei entgegengesetzte Luftströme, die sich treffen oder an einander hinfliessen, einen derartigen, heftigen Wirbelwind erzeugen, dass in demselben alsbald durch die Fliehkraft eine Luftverdünnung eintritt und dass diese von unten und oben einen Luftstrom ansaugt, der dann ebenfalls leicht die Drehbewegung des anfänglichen Wirbelwindes annimmt. Schon Peltier macht auf den Widerspruch aufmerksam, dass zwei entgegengesetzte Luftströme

an der Stelle, wo sie aufeinander wirken, statt sich gegenseitig zu stauen und eine Luftverdichtung zu bewirken, indirekt eine Luftverdünnung hervorrufen sollen. Ferner hebt Muncke mit Recht hervor, dass entgegengesetzte Winde viel häufiger übereinander hin- als nebeneinander vorbeifliessen, dass demnach die von ihnen etwa erzeugten Wirbelwinde viel häufiger eine horizontale als eine vertikale Drehungsaxe haben müssten, während doch alle Wettersäulen genau oder nahezu vertikal seien und kein Beispiel einer horizontalen Wettersäule existire. Ein dritter gewichtiger Einwand scheint mir der zu sein, dass solche in höheren Luftschichten entstehenden Wirbelwinde gewiss nicht an der Erdoberfläche einen nach abwärts gerichteten Luftstrom erzeugen können; und doch wollen glaubwürdige Augenzeugen in einigen Wasserhosen eine nach unten gerichtete Bewegung und sogar unter ihnen eine Vertiefung in der Oberfläche des Wassers wahrgenommen haben.

Ferner ist mir sehr zweifelhaft, ob zwei einander begegnende Luftströme wirklich einen 10 bis 15 Minuten oder gar Stunden lang anhaltenden Wirbelwind erzeugen können. Wenn wir durch einen Windstrom hinter Hausecken oder auf mehrseitig umschlossenen Höfen Wirbel entstehen sehen, welche dürre Blätter, Staub oder Schnee hoch emportreiben, so werden diese Wirbel sicherlich nicht durch eine Art Reibung zwischen der vorbeistreifenden und der ruhigeren Luft erzeugt. Vielmehr saugt der an der Hausecke vorübereilende Luftstrom nach bekannten hydraulischen Gesetzen die unmittelbar dahinter befindliche, ruhigere Luft an, wird aber zugleich theilweise abgelenkt nach dem nunmehr etwas luftverdünnten Raume hin; und so bildet sich ein stehender Wirbelwind hinter der Ecke, besonders wenn die Gebäude eine Art Hof bilden, so dass die Luft nicht seitlich zuströmen kann. Ganz ähnliche Erscheinungen beobachten wir im Wasser, namentlich beim Rudern. Dass zwei verschiedene Luftströmungen ebenfalls kurz andauernde Wirbelwinde erzeugen können, mag wohl sein; doch können dieselben nicht gleich schweren Kreiseln lange Zeit und meilenweit fortwirbeln, weil beim Aufhören der erzeugenden Ursache die rotirenden Luftmassen sich sofort in die umgebende, relativ ruhige Luft zerstreuen müssen. Nur durch eine unrichtige Erklärung jener anders entstandenen Wirbel an Hausecken dürften so viele ältere Meteorologen zur Annahme dieser sogenannten Wirbeltheorie

der Wettersäulen und namentlich auch zu der Vorstellung veranlasst sein, dass so entstandene Wirbelwinde vorzugsweise um vertikale Axen sich drehen.

Noch entschiedener dürfte gegen diese Wirbeltheorie der Umstand sprechen, dass die Wettersäulen vorzugsweise, wenn nicht ausschliesslich, bei Windstille oder bei schwachen, wechselnden Winden auftreten. Diese Thatsache, welche doch auch einer Aufklärung bedürfte, steht mit der Wirbeltheorie geradezu im Widerspruch. Um einen Wirbelwind zu erzeugen, der die stärksten Bäume wie Strohhalme zerbricht, müssten, so sollte man meinen, sturmartige Winde aufeinander prallen; aber nein, wie vielen Gewittern so geht auch der Wettersäule Windstille voraus. Und wenn man auch annehmen wollte, dass ganz oben in der Luft heftige Winde sich begegnen: wie können dieselben ganz unten in der vollkommen ruhigen Luftschicht einer Landstrasse jene so häufigen, nur zwei oder drei Fuss hohen, trichterförmigen Staubwinkel erzeugen? Und kann man denn im Ernste glauben, dass ein in Wolkenhöhe entstehender Wirbelwind einen schlauchartig gestalteten Luftstrom tausend Fuss hoch senkrecht emporzuziehen vermöge mit einer Kraft, die unten noch Wasserstrahlen haushoch aufwirbelt oder grosse Gebäude zerstört und ihre Trümmer meilenweit mitreisst? Müsste nicht der aufgesogene Luftstrom nach unten hin sofort und stark sich erweitern, statt wie bei den Wettersäulen nach oben oder auch gar nicht?

Im vorigen Jahrhundert war die Ansicht weit verbreitet, dass alle meteorologischen Phänomene in der Electricität ihre letzte Ursache hätten, insbesondere auch die Wettersäulen. Diese Ansicht hat jetzt nur wenige Anhänger mehr, und wir brauchen nicht lange bei ihr zu verweilen. Ihr Hauptvertreter, Peltier, nennt freilich acht Gelehrte, welche der Electricität bei den Wettersäulen eine Rolle zuschreiben; aber unter diesen dürften höchstens drei die Electricität für die Ursache der Tromben erklären, und der berühmteste unter den übrigen, Humboldt, spricht nur ganz gelegentlich einmal von der „luftdünnen, electrisch geladenen Mitte“ der Südamericanischen Sandhosen. Die ganze Richtung, welche die heutige Meteorologie eingeschlagen hat, lässt es im höchsten Grade unglaublich erscheinen, dass eine Wolke durch electrische Anziehung den Staub, Dunst und die Luft in einem viele hundert Fuss hohen Schlauche aufwärts reissen und so einen Sturm erzeugen könne, welcher in einem Augenblicke

eine 60 Schritt breite Allee durch den Wald bricht. Warum, wenn die electrische Spannung so gross wird, gleicht sie sich nicht wie bei allen Gewittern durch Blitzschläge aus? Wie finden bei Peltier's Hypothese diejenigen oft beobachteten Land- und selbst Wasserhosen ihre Erklärung, welche bei wolkenfreiem Himmel sich bilden? etwa durch die neue Hypothese, dass über ihnen eine mit Electricität geladene unsichtbare Wolke schwebe? Und wie entstehen, fragen wir auch hier, die ganz niedrigen Staubwirbel, oder gar die trichterförmigen Tromben, welche zeitweilig den Boden gar nicht berühren, sondern sich nur hie und da aus der Höhe verwüstend auf den Wald herabsenken? Die Electricität macht sich freilich sehr oft aber doch lange nicht immer in den Wettersäulen bemerkbar, und schon Oersted erklärt sie deshalb für eine blosse Folge der Verdichtung von Wasserdampf, für ein Produkt nicht für die Ursache der Wettersäulen. Und was die Peltier'sche Erklärung der electrischen Wirkungen jener vereinzelt dastehenden Trombe von Chatenay betrifft, so können wir sie vollständig annehmen, wenn wir uns auch den in der Trombe aufsteigenden Luftstrom auf ganz andere Weise als durch electrische Anziehung entstanden denken.

Wenn uns sonach die Wirbel- und die electrische Hypothese gleich unbefriedigt lassen, ja wenn sie im Widerspruch stehen mit vielfachen Beobachtungen, so müssen wir wohl auf diejenige Erklärung der Wettersäulen zurückgreifen, welche uns durch die Wirbelwinde über grossen Brandstätten und thätigen Vulkanen so nahe gelegt wird. Wir halten mit Muncke, Belt und Espy die Wettersäulen für vertikale Luftströme, welche die warme und feuchte Luft von der Erdoberfläche strudelnd emporführen, oder auch kalte Luft von oben zu ihr herabbringen. Dagegen theilen wir nicht völlig die Ansichten der genannten Gelehrten über die Art und Weise, wie jene Luftstrudel erzeugt werden.

Für diese Erklärung der Wettersäulen spricht zunächst deren Analogie mit den heftig wirbelnden Rauch- und Feuersäulen von Redfield, Olmsted und Espy, dann auch ihr plötzliches Auftreten bei Windstille, in schwüler Luft und über erhitzten Flächen, wie z. B. auf sonnigen Plätzen, dürren Steppen und öden Wüsten oder über dem glatten, die Sonne heiss zurückstrahlenden Meeresspiegel. Die über glühender Lava beobachteten Wirbelwinde können gewiss nur durch aufsteigende Luftströme befriedigend

erklärt werden, denn z. B. von statischer Electricität kann bei der Glühhitze der Lava sicher keine Rede sein; wer aber die Möglichkeit solcher durch Wärme entstandener Luftstrudel über heissen Lavamassen zugiebt, wird sie für Sand- und ausgedörrte Graswüsten nicht wohl leugnen können.

Die Plötzlichkeit, mit der sich die Wettersäulen wie von selbst in ruhiger Atmosphäre bilden, und die Heftigkeit ihres Auftretens legen den Gedanken nahe, dass ihnen ein labiles Gleichgewicht der Luft vorhergehe, und dass durch sie die gewaltsame Umwälzung der Luftschichten geschehe, mit welcher das stabile Gleichgewicht sich wieder herstellt. Wirklich müsste bei stabilem Gleichgewichte der Atmosphäre die Bewegung eines immerhin nicht breiten Luftstromes rasch an dem passiven Widerstande der durchbrochenen ruhenden Luftschichten erlahmen, ähnlich wie wir es bei den Rauchsäulen unserer Kamine wahrnehmen. Die Entstehung jenes labilen Gleichgewichtes in ruhiger Atmosphäre ist nun aber unschwer zu erklären. Vom erwärmten Boden aus wird nämlich an windstillen, sonnigen Tagen den unteren Luftschichten ganz allmälig eine höhere Temperatur ertheilt, so dass sie sich langsam ausdehnen. Bei unruhiger Luft oder auf ungünstigem Terrain würde sehr bald diese erwärmte Luft sich ähnlich, wie die Dampfblasen in kochendem Wasser, in kleineren oder grösseren Massen vom Boden ablösen und aufsteigen, während an anderen Stellen die kältere Luft herabsinkt und sich über den Boden ausbreitet; und durch derartige Bewegungen erklärt man ja das Zittern der Luft über Oefen, erhitzten Kieswegen u. dgl. Aber unter günstigen Verhältnissen können die untersten Luftschichten örtlich so stark erwärmt werden, dass sie trotz des auf ihnen lastenden grösseren Luftdruckes sogar specifisch leichter werden als die über ihnen befindlichen Luftschichten. Beweis hiefür sind die trügerischen Luftspiegelungen in den Sandwüsten, welche den ermatteten, durstigen Caravanen das Gaukelbild eines Landsees vorzaubern, nicht selten wenige Minuten bevor der gefürchtete Wüstensturm sich erhebt und Alles in Wolken heissen Sandes einhüllt; denn die Erklärung dieser Luftspiegelung setzt einen derartigen Zustand des labilen Gleichgewichtes in den untersten Luftschichten geradezu voraus. Bei einer zufälligen, vielleicht durch einen Reiter oder den Schatten einer Wolke hervorgerufenen Störung des Gleichgewichtes setzt sich dann die allmälig angesammelte Wärmemenge plötzlich

in Bewegung um, und die Luft reisst in heftigem Auftriebe wirbelnde Säulen von Sand hoch mit sich empor.

Wollen wir uns über das Entstehen der Wettersäulen befriedigend Rechenschaft geben, so müssen wir vor Allem die Frage lösen: „Bei welchen Temperaturverhältnissen ist ruhende „Luft im labilen Gleichgewichte?“ Hierauf folgt gewöhnlich die Antwort, welche auch Belt giebt: „Wenn die unteren Luft- „schichten so stark erwärmt wurden, dass sie specifisch leichter „sind als irgend welche über ihnen befindlichen Schichten.“ Meine im Anhange No. 3 ausgeführten Rechnungen[27]) zeigen nun aber, dass Letzteres erst dann eintritt, wenn von den unteren Luftschichten gegen die oberen hin die atmosphärische Temperatur abnimmt um mehr als $3^{42}/_{100}$ Grad Celsius für je hundert Meter senkrechter Erhebung. Die bei Luftfahrten und Bergersteigungen wirklich beobachteten Temperatur-Abnahmen betragen dagegen selten mehr als den vierten Theil dieser Zahl, und nie, ausser auf der sehr merkwürdigen Luftfahrt von Barral und Bixio, ist wohl die genannte Temperatur-Abnahme von $3^0,_{42}$ Cels. pr. 100^m direkt beobachtet worden. Wir halten deshalb die Annahme für unzulässig, dass bei jeder Wettersäule die unteren Luftschichten leichter seien als die oberen, wenn dieses auch bei einzelnen, besonders heftigen wirklich der Fall sein mag.

Aber das labile Gleichgewicht tritt in der That schon bei einer viel geringeren Erwärmung der untersten Luftschichten ein. Zur Erläuterung denke man sich zunächst einen kleinen ausdehnsamen Luftballon, der durch zweckmässige Belastung im Wasser schwebend erhalten wird. Drückt man denselben um ein Weniges unter seine Gleichgewichtslage hinab, so sinkt er sofort zu Grunde, weil er durch den grösseren Wasserdruck zusammengepresst, sein Auftrieb also verringert wird. Ebenso steigt er sofort zur Oberfläche empor, wenn er über seine Gleichgewichtslage gehoben wird, weil bei verminderter Druckhöhe der Ballon sich ausdehnen muss, also sein Auftrieb grösser wird. Das Gleichgewicht des Ballons ist also ein labiles oder schwankendes, ähnlich wie dasjenige eines langen Stabes, den man auf der Fingerspitze balanciren lässt. Ganz ähnliche Erscheinungen können in der Atmosphäre eintreten, wenn eine beliebige Luftmenge Ortsveränderungen erleidet; nur ist hier das Gleichgewicht nicht nothwendig ein labiles, sondern es kann je nach den Temperatur-Verhältnissen auch indifferent oder stabil werden.

Versetzen wir nämlich eine beliebige Luftmasse ohne äusserliche Zuführung von Wärme in eine höhere Schicht der Atmosphäre, so dehnt sie sich aus wegen Verminderung des äusseren Druckes, und ihre Temperatur sinkt gleichzeitig. Ist diese, dem Poisson'schen Spannungsgesetze entsprechende Temperaturabnahme grösser als die atmosphärische, welche der durchlaufenen Höhe entspricht, ist also unser Luftquantum bis unter die Temperatur seiner neuen Umgebung erkaltet, so muss dasselbe, wenn es sich selbst überlassen wird, wieder zu seiner früheren Lage hinabsinken. Das Gleichgewicht der Luft ist dann ein stabiles oder beständiges. Dagegen wird die Luftmasse noch höher steigen, wenn ihre Temperatur-Abnahme kleiner ist als die atmosphärische, und wenn sie deshalb wärmer bleibt als die umgebende Luftschicht; das Gleichgewicht ist in diesem Falle ein labiles oder schwankendes. Meine Rechnung zeigt, dass die Luftmasse in ihrer neuen Lage bleibt, und dass folglich die Atmosphäre im indifferenten Gleichgewicht sich befindet, wenn die Temperatur-Abnahme für einen Höhenunterschied von 100 Metern einen Grad Celsius (genauer $0^0{,}_{993}$) beträgt. Nimmt also die atmosphärische Temperatur für eine lothrechte Erhebung von 100 Metern um mehr ab als einen Grad, so ist das Gleichgewicht der Atmosphäre ein labiles; zugleich aber ist jede Luftschicht specifisch schwerer als alle darüber befindlichen, wenn nur die Temperatur-Abnahme nicht ganz $3{,}_{42}$ Grad pr. 100^{m} beträgt. Beispielsweise war bei Glaisher's acht Luftschifffahrten [28]) vom Sommer 1862 die Luft bis zu 1000 Fuss Engl. über der Erdoberfläche im labilen Gleichgewichte; denn die Temperatur-Abnahme betrug im Mittel $5^1/_2$ Grad Fahrenheit für die ersten 1000 Fuss, oder $1^0{,}_{002}$ Cels. für je 100 Meter. Für die ersten 100 Fuss betrug die Temperatur-Abnahme sogar einen Grad Fahr. [28a]), also per 100 Meter nicht weniger als $1^0{,}_8$ Cels. Sicherlich haben deshalb zur Zeit dieser Luftfahrten auf- oder niedersteigende Luftströmungen geherrscht, wenn auch vielleicht keine continuirliche, wirbelnde. Denn man vergesse nicht, dass meinen Rechnungen keinerlei zweifelhafte Annahmen zu Grunde liegen, dass vielmehr ihre Ergebnisse ebenso zuverlässig feststehen, wie die allbekannten Spannungsgesetze der Luft, aus welchen sie abgeleitet sind.

Barral und Bixio [29]) fanden, um noch ein Beispiel anzuführen, auf ihrer berühmten Luftfahrt vom 27. Juli 1850 in der

Höhe von 6330 Metern eine Temperatur von $10^{1}/_{2}$ Grad Cels., dagegen schon in der Höhe von 7039 Metern eine solche von $39^{2}/_{3}$ Grad unter Null. Die Temperaturabnahme betrug also $29^{1}/_{6}$ Grad für 709 Meter oder $4._{1}$ Grad für je 100 Meter Erhebung. Die Luft war demnach in jener unteren Schicht wirklich leichter als in der oberen, und daraus erklärt sich wohl auch die merkwürdige Spiegelung der Sonne, welche die beiden Forscher unterhalb des Ballons wahrnahmen, ganz ebenso wie die Luftspiegelungen der Sandwüsten.*) Das labile Gleichgewicht der Luft war aber auch schon durch einen mächtigen, niedersinkenden Luftstrom unterbrochen, wie nicht bloss aus der raschen Bildung der mehr als 3300 Meter (11000 Fuss) dicken Wolke sich ergiebt, deren obere Grenze die Luftfahrer nicht einmal ganz erreichten, sondern namentlich auch aus dem Umstande, dass trotz der kurzen Dauer der Fahrt von kaum $1^{1}/_{2}$ Stunden die Temperatur der unteren Luftschichten beim Sinken des Ballons weit niedriger war als beim Aufsteigen.

Ein solcher labiler Gleichgewichtszustand der Atmosphäre kann nun aber ebenso leicht zu abwärts wie zu aufwärts gerichteten Luftströmen führen. Wenn gleichwohl die aufsteigenden Tromben viel zahlreicher sind als diejenigen mit niedersinkendem Luftstrome, so muss das seine besondere Ursache haben. Ich finde dieselbe in der Anwesenheit des atmosphärischen Wasserdampfes, welchen ich soeben ganz unberücksichtigt gelassen habe. In niedersinkenden Luftströmen behält dieser Dampf seine Gasform bei; in aufsteigenden dagegen verdichtet er sich wegen rascher Erkaltung der Luft zu Nebel, und seine bedeutende, hiebei frei werdende latente Wärme dehnt die Luft aus und treibt sie noch schneller empor.

Sowohl eine genaue Rechnung als auch zahlreiche Versuche mit Luftpumpen zeigen, dass bei der Expansion feuchter Luft sich ihr Wasserdampf verdichtet, während derselbe bei der Compression sich wegen der rasch wachsenden Temperatur nicht niederschlägt. Beim Zusammendrücken folgt deshalb feuchte Luft fast genau den Spannungsgesetzen trockener Luft, und bei nieder-

*) Die Annahme Arago's und der beiden Luftfahrer, dass die Sonne sich in den horizontalen (warum nicht auch in beliebig geneigten?) Grenzflächen der in der Luft schwebenden Eisnadeln gespiegelt habe, ist mir höchst unwahrscheinlich.

sinkenden Luftströmen hat deren Wasserdampfgehalt keinen merklichen Einfluss. Bei gegebener Ausdehnung dagegen sinken Temperatur und Spannung feuchter Luft lange nicht so schnell wie diejenigen der trockenen Luft, und der Auftrieb emporsteigender Luft wird also grösser, wenn die Luft mit Wasserdampf gesättigt als wenn sie trocken ist. Meine im Anhange No. 2 ausgeführten Rechnungen beweisen, dass diese Wirkung des atmosphärischen Wasserdampfes um so stärker sich äussert, je grösser das Gewicht des Dampfes ist im Vergleich zum Gewichte der ihn enthaltenden Luft. So z. B. macht gesättigter Wasserdampf bei 20 Grad sich viel stärker in der Luft geltend als bei Null Grad, und mehr bei geringem Luftdrucke als bei hohem; denn die Dampfmenge, welche irgend ein Raum aufnehmen kann, wächst sehr rasch mit der Temperatur und ist unabhängig vom Luftdruck, das Gewicht der in demselben Raume enthaltenen Luft dagegen nimmt bei wachsender Temperatur oder vermindertem Druck durch Expansion ab.

Aus diesen Ergebnissen folgt weiter (Anhang No. 3), dass feuchte Luft viel leichter in der Atmosphäre aufsteigt als trockene. Letztere steigt erst auf, wenn die atmosphärische Temperatur-Abnahme für 100 Meter Erhebung mindestens einen Grad beträgt, feuchte Luft dagegen kann unter Umständen schon aufsteigen, wenn jene Abnahme nur $1/3$ Grad Cels. beträgt. Und zwar ist die erforderliche Grösse dieser Abnahme wesentlich abhängig von derjenigen Temperatur und Spannung, welche die aufsteigende Luft bei ihrem Sättigungspunkte hat, oder mit anderen Worten von dem Gewichtsverhältnisse des Dampfes und der Luft, die gleichzeitig in demselben Raume enthalten sind. Bei der Spannung von einer Atmosphäre z. B. wird gesättigte Luft von Null Grad erst dann mit Beschleunigung sich erheben können, wenn die genannte Temperatur-Abnahme etwas über $3/4$ Grad beträgt, hingegen solche von 20 Grad schon bei einer Temperatur-Abnahme von nicht viel über $1/2$ Grad Cels. pr. 100 Meter Erhebung. Fast dieselbe Abnahme von reichlich $1/2$ Grad ist erforderlich zum beschleunigten Aufsteigen feuchter Luft von Null Grad bei $1/2$ Atmosphäre Spannung, während hiezu bei gleicher Spannung und bei 20 bis 30 Grad nur eine Temperatur-Abnahme von reichlich $1/3$ Grad nöthig ist. Auch diese Ergebnisse meiner Rechnungen stützen sich auf nichts Hypothetisches, sondern sie sind ebenso zuverlässig wie die durch zahlreiche

Messungen festgestellten Spannungs- und Wärmegesetze des gesättigten Wasserdampfes.

Feuchte aufsteigende Luftströme treten, wie sich beiläufig ergiebt, weit leichter in höheren Schichten der Atmosphäre auf als in tieferen, weil oben der Luftdruck geringer ist als unten. Wirklich sehen wir an warmen, ruhigen Sommertagen sehr oft prächtige Haufenwolken sich aufthürmen, die in mächtigen Säulen nach oben hin sich ausdehnen, und deren abgerundete Gipfel die dünnen Federwolken der oberen Atmosphäre sichtlich schnell durchbrechen; bisweilen entwickeln sie sich zu Gewittern, und Abends sieht man sie nicht selten wetterleuchten. Dagegen gehören grössere aufsteigende Luftströme an der Erdoberfläche, also die Wettersäulen oder Tromben, immerhin zu den Seltenheiten. Dabei ist freilich wohl zu berücksichtigen, dass die Luft unten weit seltener ihren Sättigungspunkt erreicht, als in der Wolkenregion; und wenn es durch Abkühlung und nächtliche Strahlung dennoch geschieht (wie z. B. Nachts beim Thaufall, oder in Hochgebirgsthälern, wenn das prachtvolle Nebelmeer unter den Berggipfeln sich ausbreitet), so ist gewöhnlich die für aufsteigende Luftströme nothwendige Bedingung nicht erfüllt, dass nämlich die untere Schicht wärmer sei als die zunächst darüber befindlichen.

Bei der Bildung von Wettersäulen wird daher in der Regel diejenige Temperaturabnahme in der Atmosphäre vorhanden sein müssen, welche für den labilen Gleichgewichtszustand trockener Luft erforderlich ist, und erst in einiger Entfernung von der Erdoberfläche verdichtet sich der mitgerissene Wasserdampf und tritt dessen Verdampfungswärme, das Aufsteigen beschleunigend, in Wirksamkeit. So erklärt sich ganz einfach der kegelförmige, schlauch- oder rüsselartige Ansatz, der bei vielen Tromben aus den Wolken herabhängt. Bei der Wettersäule von Königswinter wurde die degenförmige Wolkenspitze erst wahrgenommen, als die Staubsäule sich über dem Rheinstrome in eine Wasserhose verwandelt hatte; dann aber verlängerte sie sich ungeachtet des starken nach aufwärts gerichteten Luftstromes und ohne Zweifel durch Nebelbildung der aufsteigenden Wasserdünste sichtbar nach unten hin. Der verdichtete Dampf muss bei dieser Wettersäule, welcher sehr deutlich der Character eines aufwärts gerichteten Luftstromes aufgeprägt ist, zum Theil bis in eisige Luftregionen emporgerissen worden sein, denn dem nach-

folgenden, wolkenbruchartigen Regen waren Hagelkörner beigemischt.

Haben die Wasserdämpfe der Luft ihren Sättigungspunkt noch nicht erreicht, so ist bei einer Temperatur-Abnahme von weniger als ein Grad Cels. per 100 Meter Erhebung die Luft im stabilen Gleichgewichte, aber die Grenzen der Stabilität sind um so enger, je näher der Dampf seinem Sättigungspunkte ist. Wird nämlich ein Luftquantum aus einer unteren Schicht in eine obere versetzt, so nähert sich wegen der zugleich eintretenden Abkühlung der Dampf rasch seinem Sättigungspunkte; aber so lange sich nicht wirklich Dampf niederschlägt, bleibt die Luftmasse kälter als ihre neue Umgebung, und hat das Bestreben, zu ihrem früheren Standorte zurückzusinken. Ist jedoch der Sättigungspunkt überschritten und hat sich hinreichend viel Dampf niedergeschlagen, so kann die Temperatur der gehobenen Luftmasse über diejenige ihrer neuen Umgebung steigen, und es entsteht alsdann ein immer wachsender Auftrieb nach oben hin. Meine Rechnungen lassen genau ersehen, unter welchen Bedingungen dieser Fall eintreten wird; eine Abnahme der atmosphärischen Temperatur nach oben hin ist allemal erforderlich. Zur Bildung von aufsteigenden Luftströmen ist also das Vorhergehen eines labilen Gleichgewichts-Zustandes nicht unbedingt nothwendig, falls diese Strömungen durch eine kräftige Störung, z. B. durch einen Sturm, eingeleitet werden; doch glaube ich, dass jener Zustand den eigentlichen Wettersäulen immer vorausgeht. Niedergehende Luftströme dagegen können nur beim labilen Gleichgewichte der Atmosphäre eintreten, ohne sofort zu erlahmen.

Meine Rechnungen zeigen nicht nur, dass Belt sich irrt, wenn er die aufwirbelnden unteren Luftschichten allemal für specifisch leichter erklärt als die über ihnen befindlichen, sondern sie beschränken zugleich Espy's Ansichten über die Entstehung der Stürme ganz wesentlich. Espy zufolge werden alle Stürme durch Dampfkraft erzeugt; er nimmt an, dass überall, wo sich Wasserdampf in zufällig emporgerissenen Luftmassen verdichtet, die frei werdende Verdampfungswärme gross genug sei, um die Luftmasse zum heftigen, immer rascheren Aufsteigen zu zwingen, bis sie die Grenzen der Atmosphäre erreicht und seitlich abfliesst. Hiernach würden also auch dann, wenn die atmosphärische Temperatur sich nach oben hin gar nicht ändert, feuchte aufsteigende Luftströme sich bilden können; was meinen Rechnungen zufolge

absolut unmöglich ist, wenn nicht etwa äussere Kräfte wie z. B. electrische Anziehungen mitwirken. Denn trotz der latenten Wärme des verdichteten Wasserdampfes ist für die Bildung aufsteigender Luftströme eine Abnahme der Lufttemperatur nach oben hin durchaus nöthig und geradezu Vorbedingung. Belt und Espy haben also beide nur theilweise Recht; gleich uns halten beide im Grunde die Wärme für die treibende Kraft in den Wettersäulen, aber weil Belt die Wirkungssphäre dieser Kraft zu eng, Espy sie zu weit und beide dieselbe zu einseitig begrenzten, so verfielen sie in Irrthümer, welche den Meteorologen ihre Theorien als unannehmbar erscheinen lassen, und welche nur durch genaue Rechnungen völlig beseitigt werden konnten. Was endlich Muncke betrifft, so lässt sich dieser auf eine Auseinandersetzung darüber, weshalb die vertikalen Luftströme, die auch er für das Ursprüngliche in der Wettersäule hält, sich auf- oder abwärts bewegen, nicht weiter ein.

Die Luftspiegelungen in Steppen und Sandwüsten und die auf Luftfahrten beobachteten Temperatur-Abnahmen in der Atmosphäre haben uns bewiesen, dass der labile Gleichgewichtszustand von Luftschichten thatsächlich vorkommt. Versuchen wir nun, auf Grund unserer Rechnungsresultate und unserer Kenntniss der auf Brandstätten vorkommenden Wirbelwinde, uns eine Vorstellung zu bilden von den Erscheinungen, welche bei einer Störung jenes labilen Gleichgewichtes voraussichtlich eintreten müssen. Wenn diese Vorstellung derjenigen, welche der Leser sich bereits von den Wettersäulen gebildet hat, sehr ähnlich wird, so liegt der Grund hiervon einzig in den vorhandenen Thatsachen.

Ueber einer grösseren Fläche, etwa über einem weiten Flussthale, werde also die windstille oder auch ruhig dahinfliessende Luft vom Boden aus stark erwärmt, bis allmälig ein stark gespannter Zustand des labilen Gleichgewichtes eingetreten ist. An irgend einer Stelle bewirke eine geringe Störung, etwa der Flug eines Vogels oder der Rauch eines Kamines, ein Aufsteigen der Luft. Während diese sich aufwärts bewegt, wächst ihr Auftrieb und damit zugleich ihre Geschwindigkeit; unter ihr bildet sich ein luftverdünnter Raum, nach welchem von allen Seiten die angrenzenden Luftmassen heranströmen, um ihr dann aufwärts zu folgen. Die Luftverdünnung dehnt sich, weil auch von unten die Luft hinzufliesst, bis auf den Boden hin aus, dessen Unebenheiten die immer rascher anströmenden untersten Schichten theilweise

aufhalten und wohl auch von ihrer centralen Bewegung ablenken. Die Verdünnungsstelle ändert deshalb ihren Ort und nimmt eine fortschreitende Bewegung an; zugleich erhält der aufsteigende Luftstrom eine kleinere oder grössere Drehgeschwindigkeit, die durch die schraubenförmigen Bahnen mitgerissener Staubmassen und Blätter sichtbar wird. Heulend wie bei Kaminbränden wirbelt die Luft empor in einer einzigen Säule, die schnell weiterschreitet zu anderen, noch stillstehenden Theilen der überhitzten untersten Schichten. Sie trifft auf einen See oder Fluss, und sofort peitschen die ringsum herandringenden Luftmassen das Wasser zu Schaum oder Dunst, der dem dunkleren Staube zu den Wolken folgt. Während die schwereren Tropfen zurückfallen, um dann von Neuem aufzuspritzen, geht der mitgerissene Schaum allmälig in unsichtbaren Dampf über, zugleich durch Abkühlung die Geschwindigkeit des Aufsteigens vermindernd, und die Säule erscheint wie ein langer, oben zugespitzter Schlauch, dessen Fuss, von Spritzwasser und Dünsten umgeben, über die glatte Wasserfläche dahinschreitet. Weiter oben aber verdichtet sich wieder der Dampf zu Nebel, einen zweiten Schlauch bildend, der wie ein Trichter oben gegen die rasch zunehmende Wolke hin sich erweitert. Je schneller die Luft unten zuströmt, desto mehr nähern sich die beiden spitzen Schlauchenden, bis sie sich vereinigen zu einer einzigen, an die Wolken reichenden Säule. Am anderen Ufer wird sodann der leichte Flusssand aufgewirbelt, werden vom seitlich heranbrausenden Luftstrom die alten Uferweiden geknickt und die durchschrittenen Saaten gegen den Fuss des Wirbelwindes hin zu Boden gedrückt, sogar eine Hütte wird auseinandergerissen und ihr Dach in Stücken umhergestreut. Endlich sind die überhitzten unteren Luftschichten erschöpft, vielleicht auch durch niederströmenden Regen abgekühlt; die Staubsäule löst sich vom Boden und verschwindet bald in den Gewitterwolken.

So erklärt sich, wenn einmal der vertikale Luftstrom in den Wettersäulen als das Erste und Ursprüngliche erkannt ist, ganz naturgemäss die Saugwirkung so vieler aufsteigender Tromben, das Fallen des Barometers, das wuchtige Heranströmen der Luft zum Fusse, die fortschreitende und die häufig beobachtete Wirbelbewegung der Säule. Wir haben oben (p. 25 u. 26) zwei Wettersäulen angeführt, bei denen ein schneller Fall des Barometers um $16^1/_3$ Millimeter und um $2^1/_2$ Linien beobachtet wurde. Der Luftdruckdifferenz von $2^1/_2$ Linien entspricht aber eine orkan-

artige Windgeschwindigkeit von 34½ Metern per Secunde nach der Verdünnungsstelle hin, und der Druckdifferenz von 16⅓ Millimetern sogar die ungeheure Windgeschwindigkeit von 59 Metern per Secunde. Da darf uns freilich das plötzliche Niederwerfen von 180 grossen Bäumen und die Zerstörung von drei Spinnereien, von denen die eine an 200 Arbeiter verschüttete, nicht in Erstaunen setzen. Trifft eine solche Wettersäule, in welcher der Luftdruck um $16\frac{1}{3}^{mm}$ Quecksilber vermindert ist, auf eine Wasserfläche, so muss unter ihr das Wasser um 8¼ Zoll sich schildförmig heben; wahrscheinlich aber springt es wegen der plötzlichen, stossartigen Wirkung noch weit höher empor, und mag dann theilweise vom Windstrudel mit emporgerissen werden.

Auch das Rasseln, Sausen und Donnern im Luftcanale, welches bei umgebender Windstille weithin vernehmbar ist, wird Keinem unbegreiflich scheinen, der die weniger heftigen Sturmwinde unserer Meeresküsten je hat heulen und brausen hören; bei den heftigeren Landhosen wird dasselbe durch das Krachen fallender Baumstämme, durch aneinanderschlagende Dachziegel und Sparren noch verstärkt, bei Wasserhosen dagegen zugleich mit der Gewalt des Luftstromes durch Verdunstung mitgerissener Wassertheilchen geschwächt. Und die oft bedeutende Anhäufung von Electricität: sehen wir sie nicht wie bei den Tromben so auch bei rasch sich bildenden Gewitterwolken eintreten? und ist es nicht eine ausgemachte Sache, dass viele Gewitter, zumal an stillen Sommertagen und in engen Hochgebirgsthälern, durch aufsteigende Luftströme erzeugt werden?

Sehr wenig Aufmerksamkeit ist in den älteren Theorien der Wettersäulen dem häufigen Nachfolgen von Hagel und Schnee geschenkt worden. Eine einfachere Erklärung dieser Hagelbildung als die, dass die mitgerissenen, zu Nebel und kleinen Tropfen verdichteten Wasserdämpfe durch den aufsteigenden Luftstrom bis zu eiskalten Luftschichten emporgehoben werden, wo sie gefrieren, um in fester Form wieder herabzustürzen, dürfte nicht möglich sein. Für dieselbe spricht auch das Vorkommen von Sandkörnern und Erdtheilchen im Innern solcher Hagelkörner; auch ist ja bekannt, dass die schlimmsten Hagelwetter gleich den Tromben einen nur schmalen, aber lang gestreckten Strich Landes verwüstend durchstürmen, oft von ähnlichem Getöse begleitet sind wie jene, und an den einzelnen Orten nur sehr kurze Zeit dauern, so dass sie

vielleicht nichts Anderes sind als Wettersäulen, die in den höheren Luftschichten sich bilden.

Genug, die Gesammtheit aller Erscheinungen und jede einzelne derselben legt in ihrem mannigfaltigen Wechsel Zeugniss ab für unsere Erklärung der Wettersäulen: dieselben sind durch Wärme erzeugte vertikale Luftströme. Selbst über ihre verschiedenen Formen können wir uns jetzt Rechenschaft geben. Wenn nämlich nur in den untersten Luftschichten das Gleichgewicht labil, weiter oben dagegen sehr stabil ist, so wird der Auftrieb der emporsteigenden Luft oben rasch abnehmen; die Geschwindigkeit wird kleiner und der Luftkanal muss sich nach aufwärts trichterförmig erweitern, weil durch jeden Querschnitt gleich viel Luft hindurchgehen muss. So ist wahrscheinlich bei den conischen Staubwirbeln unserer Landstrassen nur eine sehr dünne Luftschicht unmittelbar am Boden überhitzt; der aufsteigende Luftstrom erweitert sich deshalb sofort, kommt aber auch schon in geringer Höhe zur Ruhe, indem er sich mit der oberen Luft vermischt. Anders dürfte es sein, wenn die Temperatur auch in grösseren Höhen noch sehr rasch nach oben hin abnimmt, und wenn der sich verdichtende Wasserdampf den Auftrieb vergrössert. Dann kann nämlich die Luft trotz ihrer Expansion in einem langen, nahezu cylindrischen Canale fortströmen, weil ihre Geschwindigkeit zugleich mit ihrem Volumen nach oben hin zunimmt; und erst dort, wo sie in Wolkenhöhe zur Ruhe kommt, erweitert der Schlauch sich trichterförmig.

Trifft eine aufwärts wirbelnde Wettersäule bei ihrem Fortschreiten auf einen mit kalter, schwerer Luft gefüllten Thalgrund, so kann es vorkommen, dass sie denselben ohne merkliche Wirkungen gleichsam überspringt. Trotz der localen Luftverdünnung wird nämlich die kalte Luft nicht so leicht aufwärts strömen, wie die warme lockere; und selbst wenn sie theilweise mitgerissen wird, muss sie die Geschwindigkeit und Gewalt des Strudels sofort vermindern.

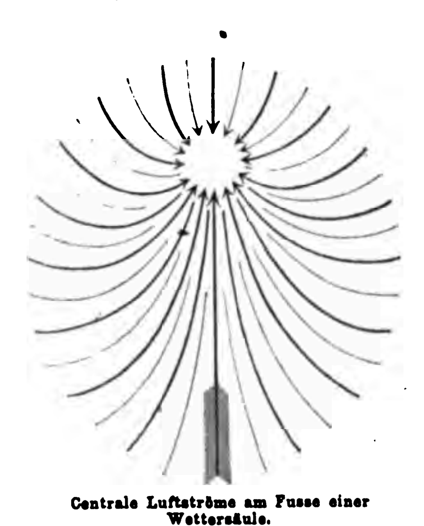
Wenn in der Atmosphäre ein starker, niedersinkender Luftstrom sich bildet, so muss derselbe ebenfalls oben weit und unten eng sein, weil unten die herabstrudelnde Luft nicht bloss zusammengedrückt wird, sondern auch schneller strömt als oben. Aber kann denn auch bei diesen nach abwärts gerichteten Tromben die Trichterform durch verdichtete Dämpfe sichtbar werden? Muss nicht vielmehr durch die Compression eine Erwärmung der

Luft eintreten, durch welche die Nebelbläschen verdampft und unsichtbar werden? Gewiss muss eine solche Verdampfung eintreten, und es mögen deshalb manche abwärts gerichtete Tromben unsichtbar und gänzlich unbemerkt bleiben. Doch kann wohl in gewissem Grade die Luftverdünnung, welche auch innerhalb eines niederstürzenden Luftstromes eintreten muss und welche durch die Centrifugalkraft der Drehbewegung noch vergrössert wird, der atmosphärischen Compression und damit zugleich der Verdampfung des Wolkennebels entgegenwirken. Freilich kann bei einer Schraubenbewegung halb durchsichtiger Wasserhosen leicht die bekannte optische Täuschung entstehen, dass man ein Niedersteigen des Dunstes zu sehen glaubt, während er in Wirklichkeit aufsteigt; aber dennoch können wir uns über die mehrfachen Zeugnisse von niedersinkenden Tromben wohl nicht mit der Behauptung hinwegsetzen, dass sie alle auf Täuschung beruhen. Auch wissen wir ja, dass abwärts gerichtete Luftströme vorkommen können, wenn sie auch wegen der mangelnden Dampfkraft weit seltener sein müssen als aufsteigende.

Die Naturforscher pflegen an die Theorien, durch welche sie die Erscheinungen der Natur zu erklären suchen, die Anforderung zu stellen, dass sie nicht bloss die beobachteten Thatsachen in einem befriedigenden Zusammenhange zeigen, sondern dass sie auch auf die nicht beobachteten Nebenumstände ein helles Licht werfen und weitere Schlüsse über dieselben gestatten. Gerade die Uebereinstimmung dieser Folgerungen mit weiteren, neuen Beobachtungen gilt dann als Prüfstein für die Richtigkeit der Theorie. Wir wollen diesen Prüfstein auch an unsere Erklärung der Wettersäulen legen. Wenn zum Fusse einer Trombe die Luft ringsum heranströmt, um dann emporzusteigen, so muss an der Erdoberfläche dieser centrale Wind um so stärker werden, je näher er dem Fusse kommt; dicht vor dem eigentlichen Centrum aber muss der Luftstrom sich allseitig nach oben hin umbiegen, so dass in der Mitte ein, wenn auch nur kleiner, windstiller Raum entsteht. An dieser Folgerung unserer Theorie wird Nichts geändert, wenn auch die Wettersäule rotirt, und die Luft in mehr oder weniger steilen Spiralwindungen seitlich heranströmt. Meistens bewegt sich die Wettersäule und mit ihr der windstille Raum sehr schnell vorwärts; und da dieser letztere bei gewöhnlichen Tromben nicht gross sein kann, auch die wenigen betroffenen Menschen häufig ihrer Sinne nicht mächtig blie-

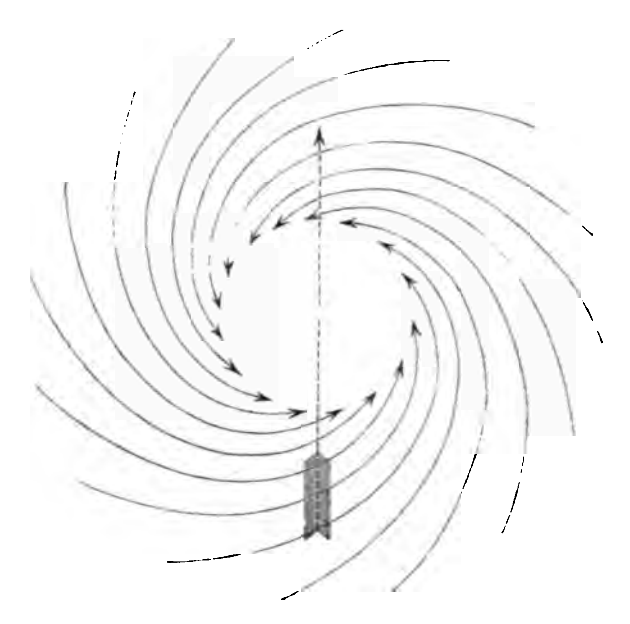
ben und jedenfalls nicht ihre Aufmerksamkeit auf solche Dinge richteten, so ist dieses windstille Centrum bisher nie ausdrücklich bemerkt worden. Wir erwähnen gleichwohl diese Consequenz unserer Theorie, weil bei den Wirbelstürmen oder Orkanen ein ausgedehnter windstiller Raum im Centrum wirklich beobachtet ist.

Die Verdünnungsstelle und mit ihr der Fuss der Wettersäule müssen nach der Seite hin fortrücken, von welcher die Luft mit der geringsten Geschwindigkeit heranströmt. Je schneller dieses Fortrücken geschieht, desto schwächer ist das Entgegenströmen derjenigen Luftschichten, welchen der Fuss der Säule zueilt, und desto schneller folgen der Trombe die hinten nachströmenden Luftmassen, welche viel länger als jene der Saugwirkung ausgesetzt bleiben; und auf diese Weise allein kann das Fortschreiten andauern, da die Luftsäule selbst keinenfalls in demselben Sinne, wie etwa ein solider Kreisel, mit Trägheit begabt ist. Es folgt also aus unserer Theorie, dass bei raschem Fortschreiten der Säule die Luft vorne nicht so schnell zum Fusse heranströmt wie an den Seiten, und viel langsamer als hinten. Und die seitlich andringende Luft muss, weil das luftverdünnte Centrum selbst fortschreitet, krumme Bahnen beschreiben, deren hohle Seite nach derselben Richtung gekehrt ist, wohin die Wettersäule sich bewegt. (Vergl. die Figur, deren Pfeile die Richtung und zugleich die Geschwindigkeit der heranströmenden Luft andeuten sollen.) Daher liegen die umgerissenen Bäume in der Mitte mit dem Zuge, an den Seiten aber nach innen gekehrt. Wir werden übrigens Beispiele von Tornados kennen lernen, bei welchen durch den vorderen Gegenstrom schwächere Bäume in einer dem Zuge entgegengesetzten Richtung umgeworfen wurden, während die stärkeren Bäume gleich nachher mit dem Zuge fielen; und Pouillet [19]) hat bei der Trombe von Monville bemerkt, dass Baumwolle aus einer der zerstörten Spinnereien in benachbarte Hecken nach der Seite



Centrale Luftströme am Fusse einer Wettersäule.

hingeflogen war, von wo die Trombe kam, während Bäume und andere schwere Gegenstände nach der entgegengesetzten Richtung fortgerissen waren.



Rotirende Luftströme am Fusse einer Wettersäule.

Rotirt eine aufsteigende Wettersäule schnell, etwa gegen die Sonne, während sie langsam vorwärts schreitet, so strömt die Luft in Spiralwindungen ihrem Fusse zu (vgl. die Figur); die leichteren Gegenstände vor ihr werden dann mehr oder weniger nach links fortgerissen, die schwereren hinter ihr nach rechts, und zugleich werden die rechts neben der Bahn des Centrums befindlichen Objecte nach vorne, dagegen die links befindlichen nach hinten aus ihrer centralen Sturzrichtung abgelenkt. Diese Ablenkung muss rechts stärker hervortreten als links, weil auf der rechten Seite die fortschreitende Bewegung der Luftmassen durch die Drehbewegung vergrössert, auf der linken Seite verkleinert wird. Bei schwacher Drehbewegung sind die Spiralwindungen steil, bei sehr starker dagegen können sie ein- oder mehrmal das Centrum umkreisen, zumal wenn die Wettersäule sehr breit ist. Schreitet zugleich die Säule sehr schnell vorwärts, so erhält die rotirende Luft rechts von der Axe des Wirbels eine viel

grössere Geschwindigkeit als links, und auch die Verwüstungen in Feld und Wald müssen sich rechts viel weiter erstrecken als links. Für die Richtigkeit dieser einfachen Folgerungen aus unserer Erklärung der Wettersäulen werden wir, wenn auch nicht bei den kleineren Europäischen Tromben, so doch bei den Tornados von Nordamerica mehrfache Belege finden.

Eine gewichtige Frage ist noch die, ob nicht durch die Wettersäulen, wenn in denselben die erhitzten untersten Luftschichten fortgeleitet oder aber kältere Luftmassen zu uns herabgeführt werden, die Lufttemperatur an der Erdoberfläche wesentlich erniedrigt werden muss. Gewiss muss sie sinken, aber wie wir glauben nicht so sehr, wie man von vornherein vielleicht anzunehmen geneigt ist. Denn setzen wir z. B. den Fall, im Rheinthale sei eine Luftschicht von 33 Meter oder 110 Fuss Höhe vom Boden aus so stark erwärmt, dass ihre Temperatur-Abnahme nach oben hin drei Grad Cels. per 100 Meter beträgt, und diese ganze Schicht strudele plötzlich in Form einer Wettersäule nach oben. Dann sinkt die auf ihr lastende Luftschicht, die an ihrer Sohle um einen Grad kälter ist als die emporwirbelnde Schicht an der ihrigen, gleichzeitig herab, wird aber, sobald beim Aufhören der Wettersäule der ursprüngliche Luftdruck sich wieder herstellt, comprimirt und dadurch um $^1/_3$ Grad erwärmt. Die ganze Abkühlung beträgt also nach Entfernung jener sehr hohen und stark überhitzten Luftschicht nur $^2/_3$ Grad, und wird entweder kaum bemerkt oder, wenn ein Regenfall die Wettersäule begleitet, diesem zugeschrieben werden. Bei kleineren Wirbelwinden mag bisweilen durch mitgerissenen heissen Staub oder Sand die allgemeine Lufttemperatur sogar vergrössert werden, zumal wenn die überhitzte Luftschicht sehr niedrig ist. — Dagegen glauben wir, dass abwärts gerichtete Windhosen, welche die Luft aus grosser Höhe zur Erdoberfläche herabbringen, allerdings eine bedeutende Abkühlung der untersten Luftschicht bewirken können.

Wenn ein labiler Gleichgewichtszustand der Atmosphäre, hervorgerufen durch allmälige Erwärmung der unteren Luftschichten, nach unserer Ansicht jeder Wettersäule vorausgeht, so brauchen wir deshalb doch keineswegs anzunehmen, dass vor dem Ausbruche jeder Trombe die Sonne stundenlang den Erdboden bestrahlt und dadurch indirekt auch die untersten Luftschichten erhitzt habe. Bei bedecktem Himmel oder auch lange nach Sonnenuntergang kann das labile Gleichgewicht z. B. auch da-

durch herbeigeführt werden, dass etwa in Wolkenhöhe sich sehr kalte Luft über die wärmere untere seitlich hinüberschiebt. Gewöhnlich zeigen sich bei solchem Einbrechen des kalten Polarstromes heftige Gewitter; aber ebensogut könnten dabei unter günstigen Verhältnissen Wettersäulen sich bilden, die ja ohnehin sehr häufig von Gewittern begleitet sind.

Dritter Abschnitt.

Die Nordamericanischen Tornados.

Die Tornados der Vereinigten Staaten bilden durch ihre Grösse und ihre fürchterlichen mechanischen Wirkungen den Uebergang von den Wettersäulen zu den Orkanen; von den Americanischen Meteorologen werden sie bald zu diesen, bald zu jenen gerechnet. Wegen des über sie vorhandenen, reichhaltigen Materiales von Beobachtungen und theoretischen Ansichten verdienen sie eine besondere Besprechung; dabei werden sie uns sowohl als Prüfstein für unsere Erklärung der Wettersäulen als auch als Vorbereitung zum Studien der Wirbelstürme dienen können. Eine übersichtliche Bearbeitung der Berichte von Tornados, welche namentlich in Silliman's American Journal of Science and Arts sehr zahlreich enthalten sind, existirt unseres Wissens bis jetzt nicht, obgleich dieselben in dem lebhaften Streite zwischen Redfield und Hare über ihre und Espy's sehr verschiedenen Theorien der Stürme ein bedeutende Rolle spielen. Diese und andere Americanische Gelehrte beschränken sich darauf, an einzelnen, genau von ihnen untersuchten Tornados ihre Theorien zu prüfen, und nur Loomis[30]) macht einen dankenswerthen Versuch, durch Zusammenstellung der ihm bekannten Tornados allgemeine Erfahrungssätze über dieselben zu gewinnen. Eben jenem Streite verdanken wir es jedoch, dass nicht allein über die grossen Orkane, sondern auch über die Tornados so viele, mit grosser Sorgfalt angestellte Beobachtungen uns aus America überliefert worden sind.

Wir schicken unserer Untersuchung eine tabellarische Uebersicht der sämmtlichen in den ersten beiden Serien von Silliman's Journal angeführten 31 Tornados voraus.

No.	Ort.	Tag und Stunde.	Temperatur (Cels.) Breite der Bahn. (Meter.)	Richtung der Bahn. Länge. (Kilom.)	Geschwindigkeit. (Meter pr. Minute.)	Locale D[…] (Sec.) Ganze D[…] (Stdn. u. […])
1.	Brandon, Ohio	20. Jan. 1854, 3 Nachm.	vorh. milde 20–21°, 1200m	N. 56¼° O. 1280km	1200m	60 Secun[…] 17 Stdn.
2.*	Mayfield, Ohio	4. Febr. 1842, 4½ Nachm.	15½°, 500—1325m	N. 33½° O. 38km	900m	75" berec[…] 42 Min.
3.	Harrison, Ohio	14. Febr. 1854, bei Tage	— 330—1200m	N. 72½° O. 80km	800m	60" berec[…] 1 Stde.
4.*	Tuscaloosa, Ala.	4. März 1842, 6 Morg.		O. (nördl.)		
5.	Mobile, Ala.	24. März 1840, 7 Nachm.	schwül, 50—200m	S. 80° O. 5—6½km		
6.*	Maury Co., Tenn.	30. März 1830				
7.*	Springfield, Ohio	11. April 1833				
8.	Marietta, Ohio	23. April 1840, 4½ Nachm.				
9.	New Harmony, Indiana	30. April 1852, 4–5½ Nachm.	— 1600m	— 480km	1600m	60" berec[…] 5 Stund[…]
10.	Gallipolis, Ohio	3. Mai 1840, 4½ Nachm.		N. O. 96km	1600m	— 1 Stund[…]
11.*	Kingston, Miss.	7. Mai 1832				
12.*	Natchez, Miss.	7. Mai 1840, 2 Nachm.	26½° 800m	N. 60° O. 40km	800m	wenige[…] 50 Minu[…]
13.*	Natchez, Miss.	Mai 1823				
14.*	Natchez, Miss.	Mai 1824				
15.*	Maumee, Ohio	23. Mai 1839		N. O.		
16.*	Shelbyville, Tennessee	31. Mai 1830, Mitternacht	schwül	O. —		15 Secun[…]
17.*	Pine Plains, N. Y.	3. Juni 1837, 6 Nachm.	schwül, 350—1600m	O. etwa 48km		
18.	Oneida Co., N. Y.	13. Juni 1857, 4 Nachm.	— 20—75m	S. S. O. 40km		
19.*	Morgan, Ohio	19. Juni 1823, 9½ Nachts	ungewöhnl. heiss, 400—500m	O. 3km		schien[…]
20.*	Kinderhook, N.Y.	19. Juni 1835, 4 Nachm.	29°, 150—400m	N. O.		

…en von Nordamerica.[32])

…ere Gestalt.	Innere Bewegungen.	Gegenstände fortgetragen. (Meter.)	Bemerkungen.
…elnde Säule … Dampf oder	Luftstrom nach innen. Drehung gegen die Sonne.	Grosse Objecte, 4800^{m}	Ueberhüpft grosse Strecken; wirft 50,000 Bäume in $^1/_2$ Stunde um. Windgeschwindigkeit rechts 3200—4600^{m} pr. Min. Luft vorher sehr feucht, Barometer fällt rasch und ungewöhnlich tief. Temperatur sinkt schnell. Am selben Tage Tornado in Washington Co., Pa.
…e niederhän- … Wolke, son- … ungeheure. …rtige Säule, … breit, unten …, oben heller.	Starker Luftstrom nach innen. Drehung gegen die Sonne. Hebt Wasser.	Hut 6400^{m}, Fussbodenbretter 12800^{m}	Ueberspringt Strecken. Windgeschwindigkeit zu 18200^{m} pr. Min. berechnet. Knabe von der Thüre weg durch's Fenster 70^{m} weit fortgeschleudert.
	Luftstrom nach innen. Drehung gegen die Sonne.	Theelöffel 800^{m}, Stück Kiste 3200^{m}	Berührt beim Aufsteigen an Hügeln den Wald nicht; beim Niedersteigen wirft er Alles nieder. Stumpfes Stück Bauholz 1^{m} tief in zähen Lehmboden getrieben. Windgeschw. 9000^{m} pr. Min. berechnet.
			Ueberspringt Strecken. 7000 Bäume in einer Minute umgeworfen. Vorher Windstille. Der ganze Sturm hat 48,000^{m} Breite, der verwüstete Landstrich 1600^{m}. Barometer, vorher tief gefallen, steigt auf kurze Zeit um $^8/_{100}$ Zoll im Centrum des Sturmes.
	Hebt Wasser. Luftstrom nach innen.	Zinnplatte 32000^{m}, Fenster 48000^{m}	317 Menschen getödtet. 8$^2/_3$ Zoll Regen. Sehr grosse Hagelsteine. Barometer fällt plötzlich. Luken und ein Pult mit drei Schlössern wie durch Explosion aufgesprengt.
		Schindel 4800^{m}, Buch 11200^{m}	Rothglühende Wolke. Gleichzeitig zwei andere Tornados in 96000^{m} Entfernung.
		37000^{m}	
…heurer, unten … Kegel hängt …r Wolke.	Drehung gegen die Sonne. Saugwirkung.		Blockhaus 18^{m} weit von den Fundamenten gerissen. Ringsum Windstille. Südlich daneben ein kleinerer Tornado.
…ichterförmige		Brett 4000^{m}	Rothglühende Wolke.
		400^{m}	

No.	Ort.	Tag und Stunde.	Temperatur (Cels.) Breite der Bahn. (Meter.)	Richtung der Bahn. Länge. (Kilom.)	Geschwindigkeit. (Meter pr. Minute.)	Locale D (Sec.) Ganze I (Stdn. u.
21.*	New Brunswick, N. J.	19. Juni 1835, 5 1/2 Nachm.	28°, 200—400 m	N. 80° O. 28 km	720 m	25" berec 39 Minu
22.	Northford, Conn.	19. Juni 1794, Nachm.		N. O.		
23.*	Belfast, N. Y.	25. Juli 1838, Nachm.	heiss und schwül, 1200—2400 m	O. (südl.) 32 km		
24.*	New-Haven, Ct.	31. Juli 1839, Mittag.	24 1/2°, 300 m	N. 50° O. 6 1/2 km	1070 m	30" gescl 17" berec 6 Minu
25.	Woodbridge, Ct.	13. Aug. 1840		N. N. W.		
26.*	Utica, N. Y.	14. Aug. 1834, 4—5 Nachm.	heiss, nicht über 1600 m	O.		
27.*	Providence, R. I.	30. Aug. 1838, 3—4 Nachm.	— 100—125 m	O. 40 km	210—270 m	25" bere 2 Stdn.
28.	New-Hampshire	9. Sept. 1821, 5 1/2 Nachm.	— 100—300 m	S. O.		
29.	Charleston, S. C	10. Sept. 1811	180 m	N. W.		
30.*	N. C.	12. Oct. 1833				
31.*	Stow, Ohio	20. Oct. 1837, 3 Nachts	schwül, 200—400 m	O. 5 km		
32.	Bei Calcutta, Ostindien	8. April 1838, 1 1/2—4 Nachm.	— 400—800 m	S. 37° O. 25 1/2 km	110 m	220—440" 4 Stun
33.	Monville, Frankreich	19. Aug. 1845, 12 1/2 Mittags	gewitterschwül, 30—500 m	N. 3—4 km	1300—2000 m	einige wenige m

von Nordamerica.[32])

Gestalt.	Innere Bewegungen.	Gegenstände fortgetragen. (Meter.)	Bemerkungen.
wei Kegel, itzen sich , nach we- uten eine ausbrei- e von etwa he.	Starker Luftstrom nach innen und aufwärts. Wirbelbewegung mit der Sonne nach Beck; schwache Drehung gegen die Sonne nach Redfield.	Netz 11000 ^{m}, Brief 32000 ^{m}, Schindeln u. Bretter 32000 ^{m}	Saugwirkungen. In der Bahnmitte liegen die Bäume vorwärts, an den Seiten einwärts niedergestreckt. An demselben Tage zwei andere Tornados in 27000 ^{m} Entfernung; treten sämmtlich innerhalb eines grossen Drehsturmes auf. Viele Schindeln und Bretter fallen mit einem Hagelschauer 32000 ^{m} östlich von New Brunswick nieder.
n Stunden- kommt aus e.			Zickzacklauf. Ringsum Windstille.
	Luftstrom nach innen. Spiralbewegung aufwärts. Drehung gegen die Sonne. Hebt Wasser.		Ueberhüpft kleinere Strecken. An einer Stelle 500 Acres Fichtenwaldung umgeworfen.
	Centraler Luftstrom nach innen.	Kappe, 4800 ^{m}	Ueberspringt den Rücken des East Rock, nähert sich über dem jenseitigen Abhang wieder der Erde und erneuert dann in der Ebene sein Zerstörungswerk.
			Innerhalb eines grossen Drehsturmes. Folgt der localen Richtung des Sturmwindes quer durch die Bahn des grossen Sturmes.
hrter Ke- st, hängt ephanten- ab.	Luftstrom nach innen und aufwärts. Drehung gegen die Sonne.		Aus den Wolken fallen Schindeln und Bretter herab. Wird über dem Flusse zur Wasserhose. Luftverdünnung im Centrum.
ten- oder nrüssel- en breit.	Hebt Wasser.	Fussbodenbretter, 48000 ^{m}	Je tiefer das Thal, desto enger und **heftiger** der Luftstrom. Wird Wasserhose über dem Sunapee-See. Beinahe gleichzeitig zwei parallel laufende Tornados in der Entfernung von Warwick, Ma.
			Wie No. 25 innerhalb eines Drehsturmes u. s. w. — 20 Menschen getödtet.
	Centraler Luftstrom nach innen. Leichte Tendenz zur Drehung mit der Sonne.	Betttuch, 4800 ^{m} Rock 8000 ^{m}	Karren mit Kartoffeln aufgehoben und 150 ^{m} entfernt hinter einer Scheuer senkrecht niedergefallen.
unkle Säu- n sich zur	Wirbelbewegung. Hebt Wasser.		Saugwirkungen. 215 Menschen und 533 Stück Vieh getödtet; 1245 Indische Häuser zerstört. Grosse Hagelsteine. Sonnenschein gleich nachher.
er Kegel, pitze gegen sich sen-	Heftiger Luftstrom nach innen. Keine Drehung.	Trümmer von drei Spinnereien 32000 ^{m}	Ueberspringt einzelne Strecken. Wirft in wenigen Secunden 180 grosse Bäume nieder. Barometer fällt in Rouen um $16\frac{1}{3}$ ^{mm} innerhalb einer Stunde. Zickzacklauf.

Von diesen Tornados sind 21 schon in Loomis' Tabelle enthalten*); als Beispiele für das Vorkommen ganz ähnlicher Stürme in anderen Welttheilen haben wir die schon erwähnte Trombe von Monville bei Rouen und diejenige Wettersäule, welche am 8. April 1858 bei Calcutta 215 Menschen tödtete, hinzugefügt. Einige der Angaben von Loomis haben wir als unwesentlich oder entbehrlich weggelassen, die übrigen aber nach der von uns angegebenen Literatur sorgfältig controlirt und vervollständigt; die Rubriken „Ganze Dauer", „Aeussere Gestalt", „Innere Bewegungen" und „Bemerkungen" fehlen bei Loomis und sind von uns hinzugefügt.

Die Tornados sind so regelmässig von Blitz und Regen begleitet, dass wir es für unnöthig hielten, gleich Loomis Dieses bei jedem einzelnen Fall zu notiren; nicht selten entwickeln sich die Tornados aus Gewittern, und häufig hagelt es während ihres Auftretens. Bei vier Tornados hat Loomis die Bemerkung „Geflügel entfiedert"; er erklärt diese Thatsache gewiss ganz richtig durch die grosse Gewalt des Sturmwindes, und wir halten sie für unwesentlich. Wichtiger könnte vielleicht die Bemerkung von Loomis scheinen, dass von denjenigen 14 Tornados, von welchen er mehr als Tag und Ort ihres Auftretens angeben konnte, nicht weniger als fünf die leewärts gelegenen, d. h. vom Winde abgekehrten Dächer wegrissen, während die dem Winde zugekehrten Dächer ganz oder fast unbeschädigt blieben. Man ist zu leicht geneigt, gerade diese Wirkung einer besonderen Saugkraft des Wirbelwindes zuzuschreiben, während auch geradlinige Luftströme dieselbe hervorrufen; und Loomis macht mit Recht darauf aufmerksam, dass die Windseiten der Dächer vom Winde angedrückt werden, an den Leeseiten aber eine Luftverdünnung eintritt, und dass schon dann, wenn das Barometer innen nur ein zehntel Zoll höher steht als aussen, ein Auftrieb von sieben Pfund per Quadratfuss wirksam wird, der wohl hinreichen dürfte, um einen grossen Theil der Scheunendächer von Ohio herabzuwerfen.

Unsere Uebersicht lehrt uns, dass die Temperatur beim Eintritt der Tornados eine ungewöhnlich hohe ist; schon Loomis hebt hervor, dass selbst dann, wenn in kalten Monaten ein Tornado beobachtet wurde, die Temperatur für die Jahreszeit

---

*) Diese 21 sind in unserer Uebersicht mit einem Sternchen * bezeichnet.

ungewöhnlich hoch war, und wir fügen hinzu, dass in einem solchen Falle (20. Januar 1854) nach ausdrücklicher Angabe die Luft so feucht war, dass die Wände von Nässe trieften. Auch die wiederholte Bemerkung „schwül“ deutet ausser auf hohe Temperatur auch auf einen grossen Feuchtigkeitsgehalt der Luft, durch welchen die Ausdünstung erschwert wird. Mit dieser, für die Bildung von Tornados anscheinend nothwendigen, hohen Temperatur dürfte der Umstand in Zusammenhang stehen, dass von 21 Tornados nur fünf eintraten, während die Sonne unter dem Horizonte stand, alle übrigen 16 dagegen zwischen Mittag und sechs Uhr Nachmittags. In den Herbst und Winter fielen von 31 Tornados nur sechs, in den Frühling und Sommer hingegen 25, von welchen auf Mai und Juni allein nicht weniger als 13 kommen. Diese Thatsachen stehen in schönstem Einklange mit unserer Erklärung der Wettersäulen, wären aber ganz unbegreiflich, wenn Redfield's Ansicht begründet wäre, dass die Tornados durch einander begegnende Luftströme erzeugt werden.

Auch die äussere Gestalt der Tornados, die meistens als eine conische, trichterförmige oder schlauchartig nach oben sich erweiternde bezeichnet wird, dürfte mit Redfield's Ansicht kaum vereinbar sein; wir haben uns über dieselbe schon im vorigen Abschnitte Rechenschaft gegeben. Wenn die Tornados hierin den Europäischen Wettersäulen gleichen, so übertreffen sie diese meistens bedeutend an Ausdehnung. Die Breite ihrer Bahn beträgt an der Erdoberfläche durchschnittlich 680 Meter (2270 Fuss) und steigt sogar bei mehreren Tornados auf 1600 Meter oder eine Englische Meile; sie ist übrigens in jedem einzelnen Falle sehr veränderlich. Die Länge dieser Bahn wechselt von drei bis zu 1280 Kilometer oder zwei bis 800 Englischen Meilen; abgesehen von der ungewöhnlich langen Bahn des Tornados vom 20. Januar 1854 beträgt sie im Mittel 67000 Meter, d. h. 42 Englische oder 9 Deutsche Meilen. Sehr bedeutend ist die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Tornados, nämlich durchschnittlich 990 Meter in der Minute oder 37 Engl. Meilen per Stunde. Während die ganze Dauer des Tornados, innerhalb welcher er seine Bahn durchläuft, manchmal einige Stunden beträgt, pflegen die zerstörenden Wirkungen an jedem einzelnen Orte in $^1/_4$ bis $^5/_4$ Minuten zu geschehen und sind bisweilen fast momentan. Die locale Dauer wurde in den meisten Fällen aus der Bahnbreite und der anderweitig bestimmten Geschwindigkeit berechnet. Letztere wird, beiläufig gesagt, von der

eigentlichen Windgeschwindigkeit im Tornado weit übertroffen, wie wir aus den grossen mechanischen Wirkungen schliessen müssen.

Aus diesen Wirkungen nun lässt sich viel deutlicher im Tornado eine nach innen und aufwärts gerichtete Bewegung der Luft erkennen als eine Drehung derselben um eine vertikale Axe. Wir werden einige Fälle noch genauer besprechen, in denen eine solche Drehung (auf welche doch der Name „Tornado" geradezu hinweist) entweder gar nicht oder trotz vieler Mühe nur als verhältnissmässig unbedeutend nachgewiesen werden konnte. Die Richtung der umgerissenen Bäume weist dagegen regelmässig auf das allseitige Heranströmen der Luft gegen den Fuss des Tornados unverkennbar hin; unabhängig hievon aber konnte der aufsteigende Luftstrom sehr häufig durch emporgetragene, zum Theil schwere Gegenstände constatirt werden, die bisweilen hoch aus den Wolken wieder herabfielen, ferner durch das Heben von Wasser, durch das sichtbare Aufsteigen von Staub und Dunst und durch fortgetragene leichtere Objecte, die Tausende von Metern entfernt wieder zur Erde fielen.

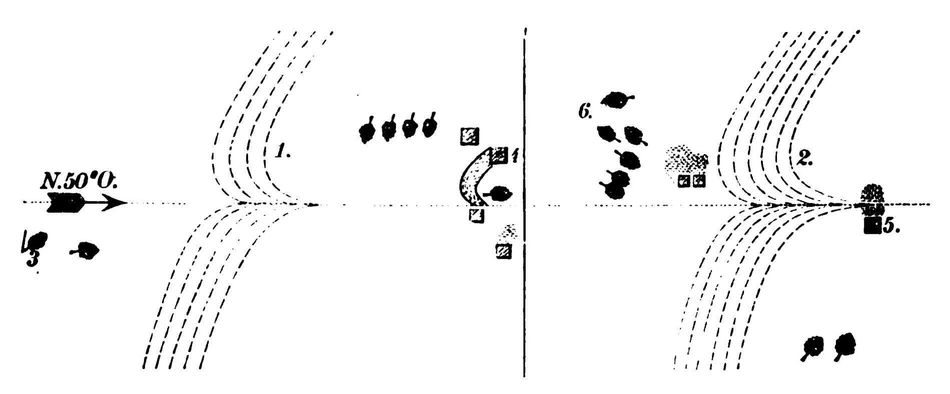
Sehr auffallend ist es, dass wenn eine Drehung im Tornado mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte, dieselbe allemal von Ost über Nord gegen West und Süd, also gegen die Sonne stattfand. Wir werden auf diese Thatsache bei Besprechung der Orkane ausführlich zurückkommen, und wiederholen hier nur, dass für kleinere Wirbelwinde der Drehungssinn durchaus nicht immer derselbe ist. Loomis richtete zwei Jahre lang seine Aufmerksamkeit auf diesen Punkt; er beobachtete fünf Wirbelwinde, welche mit, und zwei, welche gegen die Sonne sich drehten. Thom beobachtete sogar unter sechs gleichzeitigen Staubwirbeln zwei einander nahe, die sich in entgegengesetztem Sinne drehten. — Sehr bemerkenswerth ist ferner, dass die Tornados regelmässig gegen Osten sich bewegen und zwar in nur schwach oder gar nicht gekrümmter Bahn. Unter 23 Tornados bilden nur zwei eine Ausnahme von dieser Regel, nämlich diejenigen vom 13. August 1840 und vom 10. Sept. 1811; diese traten ebenso, wie die Tornados vom 19. Juni 1835, innerhalb grosser Drehstürme auf und folgten der localen Richtung des Sturmwindes gegen Nordnordwest und Nordwesten quer durch die Bahnen der grossen Stürme. Abgesehen von diesen beiden Ausnahmen, die demnach durch besondere Ursachen hervorgerufen wurden, bewegten sich alle Tornados nach Osten mit einer mittleren Abweichung von 13 Grad

gegen Norden. Auch auf diesen Umstand kommen wir in den nächsten Abschnitten zurück. Endlich heben wir noch die Thatsache hervor, dass nicht selten mehrere Tornados zugleich auftreten und in 20 bis 100 Kilometer Abstand parallele Bahnen durchlaufen. Dieselbe Erscheinung wurde bei den Wasserhosen bemerkt und weist hin auf eine grosse räumliche Ausdehnung der sie erzeugenden Ursachen. Redfield[31]) behauptet mit grosser Bestimmtheit, an einigen durch das Auftreten zahlreicher Gewitter und Tornados merkwürdigen Tagen, namentlich auch am 19. Juni 1835, sei die Temperatur der oberen Luftschichten ungewöhnlich niedrig gewesen; wir brauchen also nach keiner anderen Ursache des gleichzeitigen Vorkommens von Tornados uns umzusehen.

Ein Ueberhüpfen oder Ueberspringen ganzer Strecken ihrer Bahn finden wir so oft bei den Tornados erwähnt, dass wir geneigt sind, eine solche Unterbrechung oder doch Verminderung der verheerenden Gewalt ihres Fusses für eine Regel zu halten, um so mehr, als auch die Breite des verwüsteten Landstriches bei den meisten Tornados sehr veränderlich ist. Dabei setzt der Tornado über die Baumwipfel hin seinen Weg ununterbrochen fort, bis er weiterhin auf's Neue den Boden trifft, so dass seine Spur leicht mit Hülfe des Compasses wiedergefunden wird. Die Redfield'sche Wirbeltheorie bietet uns nicht den geringsten Aufschluss darüber, woher dieses Auf- und Niederhüpfen der Tornados rührt und wann es eintreten muss; und mit der Peltier-Hare'schen Electricitäts-Hypothese dürfte dasselbe ganz unvereinbar sein. Dagegen haben wir schon oben hervorgehoben, dass ein aufsteigender Luftstrom, welcher in Form einer Wettersäule einen mit kalter Luft gefüllten Thalgrund überschreitet, nothwendig abgeschwächt wird. Wenn anderseits die Luft gerade an den Thalsohlen stark durch die Sonne erwärmt und mit Wasserdämpfen erfüllt, dagegen auf den anstossenden Bergen kalt, trocken und im stabilen Gleichgewichte ist, so muss, wie beim Tornado vom 9. Sept. 1821, der Luftstrom um so enger und heftiger werden, je tiefer das Thal ist. Und wenn die wärmeren, feuchten Luftschichten eines Thales erschöpft sind, bevor noch die Wettersäule es ganz überschritten hat, so werden die am 14. Februar 1854 beobachteten Erscheinungen sich wiederholen, von welchen Stoddard uns Folgendes berichtet: „Beim Aufsteigen an Hügeln oder beim Ueberschreiten ihres Gipfels liess der Tornado (von Harrison) den Wald unberührt, aber im

Moment seines Niedersteigens stürzte Alles vor ihm nieder.“ So dienen gerade diejenigen Erscheinungen, welche den älteren Theorien gegenüber unbegreiflich bleiben, auch nie von ihnen aufgeklärt worden sind, zur Bestätigung unserer Auffassung der Wettersäulen.

Unsere Ueberzeugung von der Richtigkeit dieser Auffassung wird noch befestigt durch ein specielles Studium der einzelnen Tornados. Das heftige Heranströmen der Luft zum Centrum lässt sich z. B. sehr deutlich an den Wirkungen des Tornados von New Haven (31. Juli 1839) erkennen, welchen Professor Denison Olmsted nach seinen und seiner Freunde sorgfältigen Beobachtungen ausführlich beschreibt. Als eine seltsame Wolke von fürchterlichem Aussehen, weiss wie ein dahinjagender Schneesturm oder wie leichter Nebel und innerlich in heftiger Bewegung, überfiel der Sturm plötzlich mit Strömen Wassers die zahlreichen Zuschauer: „ein Stoss, ein Krach, und vorüber war er.“ Aber fast jeder Baum, den er auf offenem Felde traf, war niedergeworfen oder abgebrochen, sechs Häuser und eine Anzahl Scheuern waren völlig zerstört, mehrere andere abgedeckt; Felder von Kornhalmen waren zu Boden gedrückt, und die ganze überstrichene Bahn bot einen gleichförmigen Anblick von Zerstörung und Verwüstung dar.



Tornado von New Haven, Ct.

Unsere Skizze ist aus zwei besonders interessanten Theilen der Olmsted'schen zusammengesetzt. Die punktirte Mittellinie bezeichnet den gegen Nordosten gerichteten Weg des Centrums. Mit wenigen Ausnahmen waren die niedergestreckten Bäume, das Korn und die sonstigen mitgerissenen Gegenstände auf beiden

Seiten nach der Bahnmitte hingewendet, während in der Nähe dieser Bahnmitte die Richtung der hingestreckten Objecte mit derjenigen des Sturmes zusammenfiel. Doch zeigte sich dabei, zumal in den Kornfeldern, eine merkwürdige Krümmung im seitlich andringenden Luftstrom. Nämlich an der nördlichen Grenze der Bahn sind die Kornhalme rückwärts gegen Südosten hin gewendet, mehr nach der Mitte hin nähern sie sich allmälig der nordöstlichen Richtung des Sturmes, bis sie im Centrum selbst genau nach dieser Richtung zeigen. Auf der südlichen Bahnhälfte ist diese Krümmung nicht so merklich, die Kornhalme liegen mehr nahezu rechtwinklig zum Laufe des Sturmes, jedoch vorwärts geneigt; sie drehen sich aber in der Bahnmitte ebenfalls nach Nordosten. Die Striche bei 1. und 2. der Skizze bezeichnen die Richtungen der Halme in zwei Kornfeldern, welche beinahe eine Englische Meile (1600 Meter) von einander entfernt waren.

Olmsted fand zahlreiche Beispiele von Gegenständen, welche während ihres Falles gegen die Bahnmitte oder auch nachher weiter nach der Richtung hingedreht wurden, wohin der Tornado sich bewegte; so deutet der Strich bei 3. die anfängliche Lage des gestürzten Baumes an, längs der punktirten Linien bei 4. waren die Trümmer eines Daches verstreut. Häufig waren (wie bei 5.) die Trümmer zerstörter Gebäude bis ganz über die Bahnmitte hinübergeschleudert, zuweilen fast bis an die entgegengesetzte Grenze der Bahn, und in diesem Falle waren sie oft mit Bäumen und anderen Gegenständen bedeckt, die in entgegengesetzter Richtung lagen. Wenn auch an einzelnen, sehr eng begrenzten Stellen die niedergeworfenen Gegenstände nach allen Richtungen lagen, so sind wir doch durch die Gesammtheit der Thatsachen zu dem Schlusse gezwungen, dass die Luft von allen Seiten gegen den Fuss des Tornados und dann aufwärts strömte, während der Tornado selbst mit sehr grosser Geschwindigkeit sich nach Nordosten bewegte; und unsere Figur auf Seite 51 dürfte zur Erklärung der krummlinigen Bewegung der Luft genügen. Vielleicht deutet aber die Verschiedenheit dieser Bewegung in der Nord- und Südhälfte der Bahn und die abweichende Lage einiger Bäume wie bei 6. auf eine unten schwache, weiter oben stärkere Drehung des aufsteigenden Luftstromes gegen die Sonne.

Mehrere interessante Beschreibungen besitzen wir von dem Tornado, welcher am 19. Juni 1835 die Stadt New Brunswick

durchschritt. Professor Beck sah von einem Dampfschiffe des Raritonflusses aus, wie dieser Tornado sich bildete. Eine sehr dichte und niedrige Wolke breitete sich in einiger Entfernung wie ein dunkler Vorhang aus, senkte sich in der Mitte in Form eines Trichters oder umgekehrten Kegels gegen die Erde und vereinigte sich allmälig mit einem anderen Kegel, dessen Basis anscheinend auf dem Boden ruhte. In wenigen Minuten aber änderte sich dieser deutlich erkennbare Doppelkegel, und eine Säule erhob sich, an ihrem oberen Ende sich ausbreitend und einer vulkanischen Eruption gleichend. Diese Säulen- und Kegelformen wechselten mehrmals mit einander ab. Wiederholt konnte an dem emporgerissenen Staub, Holzwerk und anderen Trümmern eine Wirbelbewegung der Luft mit der Sonne deutlich wahrgenommen werden. Ueber die mechanischen Wirkungen dieser Tornados während seines $17^1/_2$ Englische Meilen oder 82 Kilometer langen Weges berichtet uns Hare Folgendes:

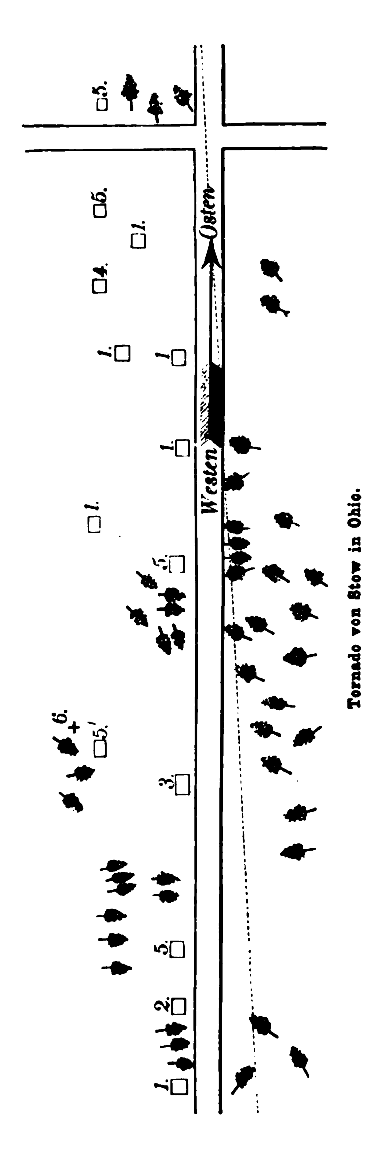
„Der Tornado warf jeden beweglichen Körper innerhalb seiner Bahn, welche 200 bis 400 Yards breit war, zu Boden oder trug ihn fort. Die Bäume, welche er nach einander innerhalb seiner Axe erfasste, wurden in seiner Bahnrichtung niedergestreckt, wogegen diejenigen zu beiden Seiten allemal nach irgend einem Punkte zeigten, welcher unter der Axe gewesen war. Häuser wurden abgedeckt und mehrmals wurden in ihnen die Fussböden aufgebrochen; bei anderen wurden die Mauern wie durch eine Explosion nach auswärts umgeworfen. Zwei Thatsachen hat Herr Espy festgestellt und Prof. Bache bestätigt, welche die Existenz einer Saugkraft beweisen. In einem Hause, welches der vertikalen Einwirkung des Tornados ausgesetzt war, wurde ein Tuch von einem Bette fort und in einen an der südlichen Wand entstandenen Spalt hineingerissen, der sich nachher schloss und es festhielt. Das Gleiche wurde von einem Handtuche beobachtet, welches ähnlich in einem Spalte der nördlichen Wand festsass. In einigen Fällen wurden Blockhäuser ganz von ihren Fundamenten gehoben. Balken und Sparren wurden von einem Hause gerissen und etwa 400 Yards weit fortgeschleudert und zwar in einer entgegengesetzten Richtung wie die, nach welcher die nicht emporgehobenen Bäume niedergestreckt waren. Leichtere Gegenstände, wie Schindeln, Hüte, Bücher und Papier, Zweige und Laub, wurden natürlich noch viel weiter getragen. Es regnete nicht allgemein, aber Hagel und Regen begleitete den

Fall der anderen Körper. Der Tornado dauerte an jeder Stelle nur wenige Secunden: bei einer Farm war der ganze Schaden angerichtet worden nach Aussage des Farmers, während dieser von der Vorder- zur Rückseite seiner Behausung ging, so dass vollständige Windstille herrschte, als er die Hinterthür erreichte. Inzwischen waren ihm Haus und Scheuer abgedeckt und die benachbarten Bäume niedergeworfen. Das Getöse, welches das Naturereigniss begleitete, wurde von jedem Zeugen als fürchterlich geschildert; am besten lässt es sich mit dem Gerumpel einer sehr grossen Anzahl schwerer Fuhrwerke vergleichen. Jeder Gegenstand auf seiner Bahn war an der Seite, von wo es herkam, mit Schlamm bespritzt; Häuser sahen aus wie mit Mörtel beworfen, und Menschen waren bis zur Unkenntlichkeit mit Schmutz bedeckt.“

„Etwas Donner und Blitz begleitete den Tornado. Einige Bäume, die dem ersten Anprall widerstanden, gaben später nach, und waren deshalb über den früher gefallenen gelagert. Die schwächeren Bäume lagen zu unterst und zeigten nach der Richtung, von welcher der Tornado herkam, während die stärkeren oben lagen und nach der Richtung zeigten, wohin er sich fortbewegte. Vier verschiedene Plätze wurden bemerkt, wo alle Bäume mit ihren Gipfeln nach einem gemeinschaftlichen Centrum hingerichtet lagen ... Aus dem Augenschein folgert Espy, dass die sichtbare Höhe des Tornados etwa eine Englische Meile betrug ... Nach seinem Dafürhalten stimmen die Erscheinungen alle dahin überein, dass sie eine nach innen gerichtete Bewegung von allen Seiten gegen das Centrum des Tornados und eine Aufwärtsbewegung in der Mitte beweisen. Diese Darlegungen Espy's werden von Professor Bache bestätigt.“

Auch Redfield stimmt diesen Angaben zu, behauptet aber ausserdem, eine Drehbewegung gegen die Sonne aus den Wirkungen des Tornados nachweisen zu können. Er stützt sich dabei auf eine sorgfältige Messung der Richtungen, in welchen etwa 100 Bäume auf einer kurzen Strecke der Bahn niedergestürzt waren. Wirklich zeigen auf der linken Seite der Bahnaxe die Bäume ein wenig nach rückwärts, auf der rechten dagegen stark nach vorwärts, wobei jedoch alle zugleich gegen die Bahnmitte hingerichtet sind. Auch erstreckt sich die Wirkung des Tornados rechts etwa doppelt so weit wie links. Einige Unregelmässigkeiten erklärt Redfield aus den Terrainverhältnissen. Aus Red-

field's eigener Skizze geht übrigens hervor, dass die Drehbewegung der Luft lange nicht so heftig war, wie die nach innen gerichtete Bewegung, mit der sie sich zusammensetzte.

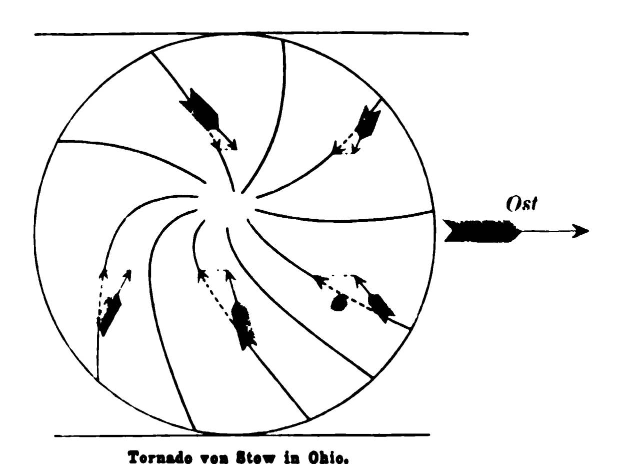


Tornado von Stow in Ohio.

Auch bei dem Tornado von Stow in Ohio vom 20. October 1837 herrschte, wie ein Blick auf unsere, von Professor Loomis entworfene Skizze lehrt, ein heftiger Luftstrom von den Seiten gegen das Centrum. Die niedergeworfenen und abgebrochenen Bäume weisen alle mit sehr wenigen Ausnahmen fast senkrecht gegen die Bahmitte hin, welche wir durch eine punktirte Linie angedeutet haben, in dieser selbst aber liegt auffallender Weise kein einziger Baum mit dem Zuge. Loomis schliesst daraus, dass ringsum der Wind gegen das Centrum blies und hier heftig mit Wirbelbewegung aufstieg. Ein genaueres Studium der übrigen Wirkungen bestätigt Dieses. Die Häuser und Scheuern 1, 1 der Skizze waren gänzlich, die Scheuer 2 theilweise abgedeckt. Am schlimmsten erging es den sechs Bewohnern des kleinen, einstöckigen Blockhauses 3, von welchen vier das Leben einbüssten. Das ganze Fachwerk dieses Hauses wurde emporgehoben und in der Richtung der Scheuer 5′ fortgetragen; ein Theil des Grundgerüstes fiel sogleich wenige Fuss von den Grundmauern wieder nieder, die Ziegel des Kamines und Bruchstücke der Möbel und Balken dagegen bedeckten die ganze Strecke bis zu der 125

Meter entfernten Scheuer 5'. Auf halbem Wege dahin fand man die schrecklich verstümmelten vier Opfer; auch die überlebenden zwei Bewohner konnten sich wegen zerbrochener Glieder nicht bewegen. Einige schwere Querbalken lagen noch 200 bis 250 Meter jenseits der Scheuer, aber alle nahezu in derselben Richtung. Vor Ausbruch des Sturmes stand ein mit Kartoffeln beladener Ochsenkarren dicht hinter dem Hause 3; derselbe wurde vom Winde aufgehoben, wobei die Kartoffeln herausfielen, und stürzte 150 Meter entfernt und zwar hinter der Scheuer bei 6 wieder zu Boden. Wahrscheinlich wurde der Karren geradeswegs über die Scheuer 5' hinübergetragen; denn er schlug flach auf mit dem einen Rade, welches sich beträchtlich tief in die Erde eingrub, und muss aus bedeutender Höhe nahezu senkrecht niedergefallen sein. Neben ihm fiel ein schwerer Querbalken des Hauses nieder. Ein Bett fand man zwischen Haus und Scheuer 50 Fuss hoch in einem Baume hängend, ebenso ein Kleidungsstück der Verunglückten; ausserdem beweisen die leichten Gegenstände, welche in benachbarten Städten niederfielen, dass ein aufsteigender Luftstrom herrschte. — Vom Hause 4 unserer Skizze wurde das obere Stockwerk fortgerissen, die Häuser 5, 5 wurden gar nicht oder wenig beschädigt.

Später hat Loomis die Richtungen der umgerissenen Bäume, von denen in der Skizze nur ein Theil verzeichnet ist mit der

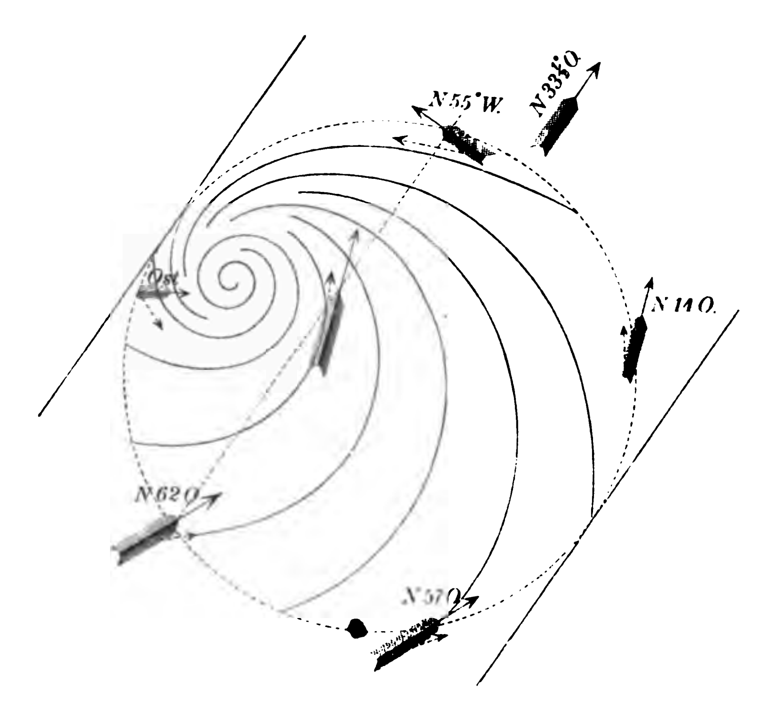


Tornado von Stow in Ohio.

Boussole gemessen und daraus das vorstehende Diagramm für die Bewegung der seitlich heranströmenden Luft erhalten. Die krumm

nach der Mitte laufenden Linien mit den punktirten Pfeilen geben die relative Bewegung der Luft innerhalb des Fusses des Tornados an; weil aber die Luft zugleich an der nach Osten fortschreitenden Bewegung des Tornados Theil nimmt, so ist ihre wirkliche Bewegungsrichtung eine mehr östliche, welche durch die ausgezogenen Pfeile angedeutet wird, und in letzterer Richtung sind die Bäume niedergestürzt. Loomis selbst sagt mit Bezug auf sein Diagramm: „Die Bewegung ist entschieden centripetal mit geringer Tendenz zur Drehung mit der Sonne.“

Weit stärker war, wie das folgende, ebenfalls von Loomis nach zahlreichen Messungen construirte Diagramm lehrt, die Drehung in dem Tornado von Mayfield (4. Februar 1842). Auch dieser furchtbare Sturm warf zwei bis vier Fuss dicke



Tornado von Mayfield, Ohio.

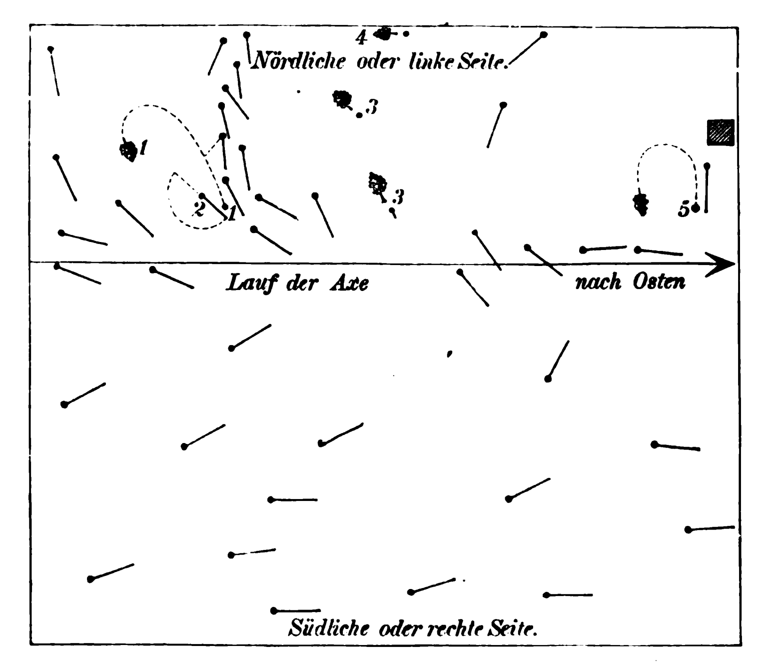
Bäume massenhaft um, zerstörte viele Gebäude und hob mehrere derselben gänzlich von ihren Fundamenten ab. Ein eilfjähriger Knabe, welcher eine aufgewehte südliche Thür seines Wohnhauses zu schliessen versuchte, wurde durch das eben auffliegende Fen-

ster nach Nordnordosten 70 Meter weit fortgerissen, ohne weiter als durch eine kleine Schramme im Gesicht verletzt zu werden. Als er zurückblickte, war das grosse, neue, zweistöckige Blockhaus verschwunden. Es war ganz aufgehoben und 33 Meter weit nach Nordosten getragen worden, wo es gegen einen Baum schlug; das obere Bauholz wurde noch weiter umhergestreut, einige leicht zu erkennende Fussbodenbretter sogar sieben bis acht Englische Meilen weit. Von der ungeheuren Gewalt des Windes zeugt namentlich die Thatsache, dass gewöhnliche Bretter mit viereckigen Endflächen 6 bis 12 und sogar 18 Zoll tief schräg durch den Rasen in den nassen Lehmboden hineingetrieben waren, und einige mit scharfen Enden sogar zwei Fuss tief. Versuche mit Eichenbrettern, die er aus einem Sechspfünder in den Boden hineinschoss, führten Loomis zu dem, wie es scheint, begründeten Schlusse, dass der Sturmwind die ungeheure Geschwindigkeit von 18200 Metern in der Minute, d. h. diejenige jener Kanonengeschosse, gehabt haben müsse.

Während des Ausbruches dieses Tornados war der ganze Himmel mit dichten, schwarzen, sich schnell bewegenden Wolken bedeckt; doch schien keine derselben sich zur Erde herabzusenken, vielmehr war der Fortschritt des Tornados durch eine ungeheure Säule von dunkelgelber, rauchartiger Färbung markirt, welche unten ganz dunkel, oben lichter war. Beim Ueberschreiten des Chagrinflusses scheint der Tornado eine beträchtliche Menge Wassers emporgehoben zu haben; am östlichen Ufer fand man deutliche Merkmale eines ansehnlichen Wasserschwalles. Die Breite der Bahn war veränderlich von 500 bis zu 1325 Metern; auf Strecken von etwa 1000 Metern Länge berührte der Tornado den Boden gar nicht, sondern knickte nur die längsten Bäume in einer Höhe von 20 bis 40 Fuss über dem Erdboden.

Wir haben oben schon hervorgehoben, dass aus den Wirkungen der Tornados viel deutlicher eine nach innen und aufwärts gerichtete Bewegung der Luft erkannt werden kann, als eine Drehbewegung derselben um eine vertikale Axe. Uns ist keine Skizze von Tornado-Verwüstungen bekannt, die deutlichere Merkmale einer Drehbewegung zeigt, als die Redfield'sche, hier folgende Skizze des Tornados von Providence (30. August 1838). Aber auch bei dieser gehört schon einige Ueberlegung dazu, um aus den Richtungen der umgerissenen Bäume diese Rotation und die Richtung, in welcher sie stattfand, zu erkennen. Die niederge-

streckten Bäume, deren Wurzel-Ende durch einen Punkt und deren Stamm durch einen geraden Strich angedeutet ist, zeigen auch hier alle nach der Bahnmitte hin, einige wenige ausgenommen, welche der Bahnmitte parallel liegen. Aber auf der rechten Seite sind sie alle stark vorwärts geneigt, auf der linken liegen sie mehr senkrecht zur Bahnmitte und zeigen zum Theil sogar nach rückwärts. Da somit die Windrichtungen zu beiden Seiten der Bahnmitte nicht symmetrisch waren, so kann der Sturm kein rein centripetaler gewesen sein; es muss vielmehr an seinem Fusse eine Drehung gegen die Sonne stattgefunden haben. Dieser Schluss wird im vorliegenden Falle durch einige besondere Beobachtungen bestätigt.



Tornado von Providence.

Nämlich die sechs mit Ziffern bezeichneten Bäume zeigen entschieden die erste Wirkung des Wirbelwindes, wie derselbe vorne quer über die Bahnmitte hinweg nach Norden gerichtet ist und dann weiter links nach Westen abgelenkt wird. Der kleine Baum 1 wurde an einer beschädigten Stelle unten abgebrochen, dann längs der punktirten krummen Linie, welche er

durch siebenmaliges Aufschlagen markirte, fortgerissen, und blieb zuletzt 30 Meter nordwestlich vom Stumpfe, mit dem Gipfel nach Süden liegen. Er riss einen kleinen Weichselkirschbaum (2) in nordwestlicher Richtung mit um; doch wurde dieser hernach vom Sturme ganz herumgedreht, so dass er schliesslich nach Südosten wies. Bei zwei weggerissenen Apfelbäumen 3, 3 lagen die Äpfel nordwestlich vom Baumstumpf. Bei 4 war ein Apfelbaumast gegen Westen geschleudert, und 5 soll zeigen, wie ein grosser abgebrochener Birnbaum in weitem Bogen den weichen Gartenboden durchpflügt hatte, ehe er westlich von seinem alten Standort liegen blieb.

Warum Redfield in seiner Skizze die Axe des Tornados so hoch nach Norden verlegt hat, giebt er nicht an; uns scheint eine etwas südlichere Lage natürlicher zu sein. Durch Hare erfahren wir noch von demselben Tornado, dass derselbe wie ein ungeheurer umgekehrter Kegel von sehr dunklem Dunste aussah, der wie ein riesiger Elephantenrüssel aus den Wolken herabhing. Manchmal senkte sich derselbe bis auf den Boden herab, und sofort stieg eine Wolke von Staub und Trümmern in dem Strudel empor. Hoch aus den Wolken sah man die mitgerissenen Schindeln und Bretter wieder herabfallen. Sehr bemerkenswerth ist, dass auf der Windseite eines Hauses der Rahmen einer Kellerthür mitsammt den zugeriegelten Thürflügeln abgehoben wurde; denn diese Thatsache beweist, dass eine Luftverdünnung im Centrum des Tornados herrschte. Als die Spitze des Kegels über dem Providence-Flusse dahinglitt, hoben sich unter ihr die Wellen und schwollen an. „In einem 90 Meter weiten Kreise schien das „Wasser wie in einem ungeheuren Kessel zu sieden, und nebelige „Dünste, dem Wasserdampf gleichend, stiegen rasch von der „Oberfläche auf und verhüllten bei ihrem Eintritt in den wirbeln„den Strudel bisweilen die Mitte des Kreises und das untere Ende „des niederhängenden, dunklen Dunstkegels.“ Von Ferne mochte jetzt die Wolke aussehen wie „ein ungeheurer, am Himmel aus„gespannter Schirm, dessen Stock durch die Dunstsäule dargestellt „wurde und in den Schaum der Wellen tauchte.“

Sehr zu bedauern ist, dass wir über die wirkliche Breite dieser orkanartigen Wettersäulen gar keine Kunde haben. Die in unserer Tabelle enthaltenen Breiten gelten nur für den verwüsteten Landstrich; ohne Zweifel aber ist auch über dessen Grenzen hinaus die Luft in starker Bewegung, wenn sie auch keine Bäume

mehr umzuwerfen vermag. Bei zwei Tornados finden wir „ringsum Windstille“ angemerkt ohne Angabe, bis zu welcher Nähe der Axen sich dieselbe erstreckte; übrigens hatte der eine dieser Tornados (13. Juni 1857) die sehr geringe Breite von 20 bis 75 Meter, von dem anderen (19. Juni 1794) wissen wir überhaupt sehr wenig. Bei dem Tornado von Providence spürte ein aufmerksamer Beobachter, welcher vom Rande der 100 bis 125 Meter breiten Bahn nicht weit entfernt war, keinen ausserordentlichen Windstoss; die Briese blies ununterbrochen aus derselben Himmelsgegend. Dagegen sagt Olmsted gelegentlich des Tornados von New Haven, an seinem Standorte, eine Englische Meile (1600^m) östlich von der 300 Meter breiten Bahn, habe vorher ein frischer Südost geherrscht; derselbe sei plötzlich zu einem Südwind, gleich darauf zu einem Westwind geworden, während man in der ganzen Stadt das polternde Getöse des Tornados hörte, und sei dann westlich geblieben. Dieser plötzliche Wechsel der Windrichtung lässt sich kaum anders als durch die Annahme erklären, dass meilenweit die Luft um den Tornado rotirt hat und zwar gegen die Sonne. Nur bei einem Tornado, dem äusserst heftigen von New Harmony (30. April 1852), sind ausgedehntere Untersuchungen über die Bewegungen der Luft in den umgebenden Landstrichen angestellt worden. Chappellsmith hat gefunden, dass dieser Tornado, dessen Bahn eine Englische Meile oder 1600 Meter breit war, das Centrum eines 30 Engl. Meilen breiten Drehsturmes bildete, welchem Windstille voranging.

Zu ähnlichen Resultaten führen uns die allerdings vereinzelten Windbeobachtungen in Natchez während des Tornados vom 7. Mai 1840. Nach Tooley's Bericht war es Vormittags bei mässigen Briesen aus Süd und Ost sehr warm gewesen; das Barometer stand Mittags auf 29",49. Zur Mittagszeit bekam der südwestliche Himmel ein dunkleres und stürmischeres Aussehen; die Düsterheit und Unruhe nahmen jeden Augenblick zu. Um 12 Uhr 45 Min. wurde das Brüllen des nahenden Sturmes deutlich hörbar; der Wind blies stark aus NO. Unter fortwährenden Blitzen steigerte sich das Gebrüll, und der immer stärker werdende Sturmwind drehte sich nach Osten. Um $1^3/_4$ Uhr näherte sich die pechschwarze Sturmwolke rasch dem Mississippi und bedeckte den ganzen Himmel; von Südwesten her schritt die Axe des Tornados westlich von der Stadt über den Fluss hin. Zugleich drehte sich der zunehmende, heftige Sturmwind nach

Südost, und der Donner krachte derartig, dass die Erde erbebte. Um 2 Uhr brach der Tornado orkanartig in Natchez herein, „begleitet von solch trüber Dunkelheit, solchem Gebrüll und Gekrach, dass die Einwohner die weite Verwüstung ringsum „weder sahen noch hörten“; in demselben Moment fiel das Barometer auf 29",37, also um 0",12. Wenige Secunden, und der zerstörende Südost hatte die Stadt verheert, zwei Dampfschiffe und mehr als 60 Flachböte mit ihren Mannschaften zum Sinken gebracht und so den Tod von 317 Menschen verursacht. Dann folgte eine vergleichsweise Stille. — Wahrscheinlich blies der Wind in steilen Spiralwindungen gegen das Centrum des Tornados, mit mässiger Drehung gegen die Sonne. Und da schon 80 Minuten vor der Katastrophe der Wind zunahm und sich drehte, so scheint dieser Tornado die Luft bis zu einem Abstande von 64 Kilometer oder 40 Engl. Meilen in Bewegung gesetzt zu haben.

Trotz der ungeheuren Gewalt der Tornados gehen durch sie wenig Menschenleben verloren, nämlich abgesehen von dem einen Tornado bei Natchez durchschnittlich nur eines. Bei Natchez aber lagen besondere Verhältnisse vor; von den 317 Verunglückten fanden die meisten auf dem Flusse durch Ertrinken ihren Tod, in dem Städtchen dagegen verunglückte von 100 Einwohnern immer nur einer. Für weit unheilvoller als die Americanischen Tornados müssen wir deshalb die Wettersäule von Calcutta vom 8. April 1838 erklären, welche auf einer Strecke von 25000 Metern nicht weniger als 215 Menschen tödtete, 233 verwundete und zugleich 1245 Indische Häuser zerstörte. Hauptsächlich mag an diesen schrecklichen Wirkungen das sehr langsame Fortschreiten dieser Wettersäule schuld sein, in Folge dessen ihre locale Dauer vier bis sieben Minuten betrug, während dieselbe bei den Tornados sehr selten eine Minute überstiegen hat. Die Geschwindigkeit des Windes war in dieser Wettersäule so gross, dass ein langes Bambusrohr durch einen fünf Fuss dicken Wall hindurchgetrieben wurde und dabei zu beiden Seiten die Mauerbekleidung durchlöcherte. Kaum ein Sechspfünder, meint der Herausgeber der India Review, hätte eine solche Wirkung hervorbringen können.

Vierter Abschnitt.

Schilderung der Cyclonen oder Wirbelstürme.

Von ausserordentlicher Wichtigkeit für die zahlreichen Classen der menschlichen Gesellschaft, welche am Grosshandel und an der Landwirthschaft betheiligt sind, ist Alles, was wir über die Stürme wissen. Die Unkenntniss ihrer Gesetze hat schon Tausenden von braven Seeleuten das Leben und vielen Rhedern und Versicherungs-Gesellschaften schwere Einbussen an ihrem Vermögen gekostet. Unberechenbar sind die Wohlthaten, welche die Menschheit schon jetzt den berühmten Entdeckern jener Gesetze, dem Deutschen Dove, dem Americaner Redfield und dem Engländer Reid zu danken hat; sie würden noch weit bedeutender sein, wenn nicht Trägheit und Dummheit auch hier der Verbreitung nützlicher Kenntnisse entgegenständen. Wie viele Rheder sind denn für das Leben ihrer Schiffsmannschaften und wie viele Versicherungs-Gesellschaften für ihre Capitalien so besorgt, dass sie den Capitainen ihrer West- oder Ostindienfahrer irgend ein Buch über die Orkane oder Teifuns mit auf den Weg geben! *) Und doch wäre die Ausgabe verschwindend klein gegen diejenige, welche so manche Feuerversicherungs-Gesellschaft für verschenkte Spritzen, oder zahllose Hausbesitzer für Blitzableiter aufwenden. Aber leider wissen die Herren häufig selbst nicht, wie eigentlich diese Orkane, welche alljährlich Hunderte von grossen Seeschiffen schwer beschädigen oder vernichten, beschaffen sind.

---

*) Am leichtesten verständlich und am nützlichsten für praktische Seeleute dürfte sein eine gute, von seekundiger Seite ausgeführte Uebersetzung des nur 110 Seiten umfassenden Buches „Conversations about Hurricanes for the use of plain sailors, by Henry Piddington, Lond. 1852.“

Wir müssen zwei Hauptarten von Stürmen unterscheiden, nämlich die (wie die Passate) stromartig sich bewegenden, in welchen die Windfahne nicht bloss die locale Windrichtung, sondern auch die Richtung ihres Fortschreitens angiebt, und die Wirbelstürme oder Cyclonen, welche als sehr ausgedehnte, über die Erdoberfläche hinkreiselnde Wirbelwinde von grosser Heftigkeit aufzufassen sind. An unseren Norddeutschen Küsten scheinen die ersteren, stromartigen Stürme, welche dort mit SSW. und SW. einsetzen und meistens bei veränderter Strömungsrichtung mit WNW. und NW. endigen, die häufigeren und zugleich gefährlicheren zu sein; zu ihnen gehören, wie Capitain Koldewey mir mittheilte, auch die eisigen Nordstürme, welche den Arbeiten der zweiten Deutschen Nordpol-Expedition so sehr hinderlich waren. Die Wirbelstürme dagegen treten schon an der Irischen Küste häufiger auf, und im Atlantischen Ocean, zumal in den Nordamericanischen und Westindischen Gewässern, sind sie ungleich zahlreicher und zerstörender als die stromartigen Stürme. Wir werden uns hier ausschliesslich mit den Wirbelstürmen beschäftigen, und beginnen mit einigen geschichtlichen Bemerkungen über die Entdeckung ihrer Bewegungsgesetze.

Schon 1801 hatte Colonel Capper[33]), in Diensten der Ostindischen Compagnie, seine leider unbeachtet gebliebene, auf zwanzigjährige Beobachtungen gegründete Ueberzeugung veröffentlicht, dass die Orkane grosse Wirbelwinde seien, er hatte sogar die Durchmesser von zwei Ostindischen Cyclonen angegeben. Im Jahre 1828 machte auch Dove[34*]) dieselbe wichtige Entdeckung bei dem Europäischen Sturme von Weihnachten 1821, indem er die zahlreichen, von Brandes und Anderen gesammelten Beobachtungen sorgfältig prüfte. Doch irrte sich Dove damals in Bezug auf den Drehungssinn der Wirbelstürme; denn er sagt: „Da in unseren Gegenden alle stärkeren Stürme SW.-Stürme sind, so wird die Drehung SW. NW. . . . . sein. — Hingegen sind die meisten von mir verglichenen Orkane auf der südlichen Hälfte in entgegengesetztem Sinn; nämlich SW. NO. . . . . (unter verschiedenen geographischen Längen aber wahrscheinlich verschieden)."

Fast gleichzeitig mit Dove und unabhängig von ihm gelangte Redfield[35]) im Jahre 1831 zu dem Ergebnisse, dass die Nordamericanischen Küstenstürme meistens Wirbelstürme seien, die gegen die Sonne im Sinne S. O. N. W. sich drehen, dass in ihrer

Mitte das Barometer auffallend niedrig stehe, und dass dieses luftdünne Centrum mit veränderlicher Geschwindigkeit fortschreite. Redfield vor Allem und dem Colonel Reid[36]), welcher durch Redfield's erste Schrift angeregt wurde, verdanken wir die Kenntniss der ziemlich regelmässigen Bahnen, welche von den Axen oder Mittellinien der Westindischen Orkane beschrieben werden; Reid bewies u. A. zuerst 1838, was Dove und Redfield schon vorher vermuthet hatten, dass die Cyclonen der südlichen Erdhälfte sich im entgegengesetzten Sinne drehen wie diejenigen der nördlichen Hälfte, nämlich im Sinne S. W. N. O. Ein sehr werthvolles Material über die Wirbelstürme der Ostindischen und Chinesischen Gewässer haben wir Piddington[37]) (seit 1839) und Thom[38]) (1845) zu danken, namentlich dem ersteren, von welchem auch der Name „Cyclone" herrührt. Mit diesem jetzt allgemein angenommenen Worte bezeichnet Piddington alle starken oder schwachen Winde, welche um ein gemeinschaftliches Centrum kreisen; dagegen benutzt er die älteren Wörter „Briese", „Gale", „Sturm", „Orkan" nur, um die Stärke eines Windes zu bezeichnen, und vermeidet so Zweideutigkeiten. Ueber die Cyclonen des nördlichen Europas hat in neuester Zeit der Norwegische Meteorologe Mohn[39]) eine hervorragende Arbeit veröffentlicht. Uebrigens hat die Literatur über die Wirbelstürme allmälig einen solchen Umfang gewonnen, dass Poey nicht weniger als 450 Bücher und Abhandlungen mit interessanten Berichten über West- und Ostindische Cyclonen aufzählen konnte.

Den ersten bedeutenden Versuch, die Entstehung der Wirbelstürme und ihre Bewegungsgesetze zu erklären, machte 1840 Dove in seinem „Gesetz der Stürme", worin er zugleich nachwies, dass auch der Weihnachtssturm von 1821 gegen die Sonne sich drehte. Dagegen wurde in America seit 1836 die Wirbelbewegung der Luft in Orkanen lebhaft bestritten von Espy[40]) und Hare[41]), welche beide der Ansicht waren, dass im Sturme die Luft von allen Seiten centripetal nach der luftdünnen Mitte heranströme und dort emporsteige. Dass solche heftige, centrale Luftströmungen wirklich vorkommen, haben uns die Americanischen Tornados gezeigt, auf welche auch Espy und Hare sich beriefen. Aber die eigentlichen Orkane, deren Breite nach Hunderten von Seemeilen sich berechnet, bieten bis jetzt kein einziges unbestrittenes Beispiel eines centripetalen Sturmes; vielmehr zeigen alle genauer untersuchten eine starke Wirbelbewe-

gung, so dass die Redfield-Dove-Reid'schen Bewegungsgesetze dieser Orkane nicht mehr in Zweifel zu ziehen sind. Uebrigens hat sich Hare vornehmlich gegen die theoretischen Vorstellungen und Folgerungen Dove's und Redfield's ausgesprochen, auf welche wir in einem späteren Abschnitte zurückkommen werden.

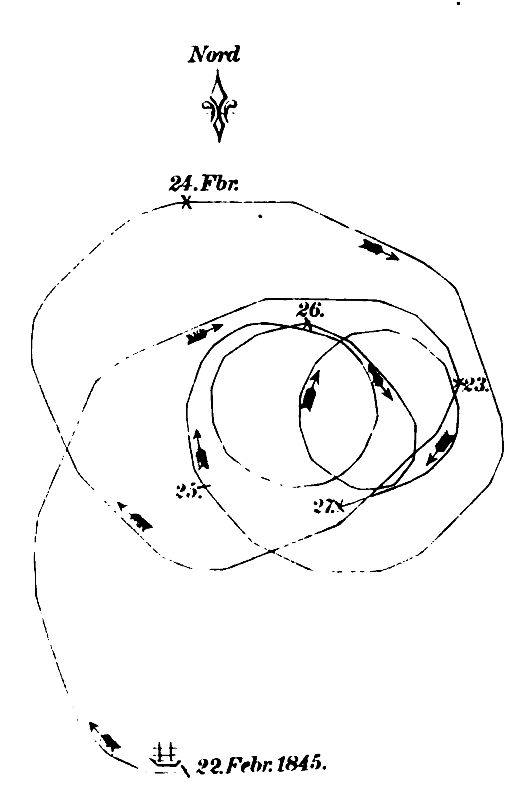
In den Cyclonen bewegt der Sturmwind sich annähernd in Kreislinien um einen gemeinsamen Mittelpunkt, welcher selbst fortschreitet; hiedurch unterscheiden sich die Wirbelstürme von den stromartigen Stürmen. Auf beiden Erdhälften geht diese kreisförmige oder Wirbel-Bewegung gegen die Sonne vor sich; nämlich auf der nördlichen von Süd über Ost nach Nord und West ↺, dagegen auf der südlichen Halbkugel (wo die Sonne von Osten über Norden nach Westen sich bewegt) von S. über W. nach N. und O. ↻. Auf der Nordhälfte drehen sich also die Wirbelstürme in entgegengesetztem Sinne wie der Zeiger einer Uhr, auf der Südhälfte aber in demselben Sinne. Der Beweis für diese Wirbelbewegung wird am Schlagendsten dadurch geführt, dass man an möglichst vielen Orten innerhalb des Sturmes für einen bestimmten Zeitpunkt die Windrichtungen ermittelt und diese auf einer hinreichend grossen Karte verzeichnet. Diese sehr mühsame Arbeit hat Redfield[35m]) u. A. für den Cuba-Orkan vom 4. bis 7. October 1844 ausgeführt, welcher allein in Havana einen auf 6 bis 7 Millionen Thaler geschätzten Schaden verursachte, indem er 72 Schiffe umwarf oder an den Strand trieb, andere entmastete, Häuser abdeckte und die Ernte stark beschädigte. Redfield hat 165 ausführliche Berichte von Schiffen und Plätzen, welche von dieser Cyclone getroffen wurden, gesammelt, und dann für zwanzig verschiedene Zeitpunkte die Windpfeile in seine Karten eingetragen; durch Hinzufügung concentrischer Kreise hat er es Jedermann leicht gemacht zu erkennen, dass wirklich eine Wirbelbewegung in diesem Orkane herrschte.

Auf unserer Karte I sind sechs von diesen 20 Redfield'schen Sturmkarten möglichst getreu wiedergegeben. Bei allen 20 sieht man auf den ersten Blick, dass die Windpfeile in Umkreisen von mehr als 800 Seemeilen Durchmesser eine entschiedene Drehung um das jedesmalige Centrum (welche der Drehung eines Uhrzeigers entgegengesetzt ist) anzeigen; zugleich aber beweisen sie eine sehr merkliche Bewegung der Luft gegen die Mitte hin. Denn die meisten Pfeile weichen ziemlich stark nach innen zu

von den Richtungen der Kreistangenten ab. Redfield selbt schätzt diese Abweichung für den Cuba-Orkan auf durchschnittlich fünt bis zehn Grad während drei voller Tage (wir hätten sie höher geschätzt), ebenso für den Sturm vom 15. December 1839 auf etwa sechs Grad[35h]); auch stellt er wiederholt eine solche spiralförmig nach innen gehende Bewegung der wirbelnden Luftmassen als unzweifelhafte Thatsache hin. Schon 1839 schreibt er[35f]): „Es ist mindestens wahrscheinlich, wenn nicht gewiss, dass in den heftigsten dieser Stürme der Wind an der Meeresfläche spiralförmig nach innen läuft und sich allmälig dem Mittelpunkte des Sturmes nähert.“ Im Jahre 1845 erklärt er sogar[35m]), er habe gleich seine erste Sturmkarte von 1830 mit spiralförmig nach innen gehenden Linien graviren lassen wollen und sei nur aus Rücksicht auf die Bequemlichkeit des Graveurs davon abgestanden. Auf unserer Karte II. welche nebst III ebenfalls Redfield entlehnt ist, hat derselbe deshalb schon 1835 diese nach innen strudelnde Bewegung der Luft durch spiralförmige Pfeile angedeutet. Redfield hält es für unwahrscheinlich, dass die durchschnittliche Abweichung der Windpfeile von den Tangenten der um das Sturmcentrum beschriebenen Kreise jemals 45 Graden nahe kommt, und bezweifelt, dass dieselbe zwei Compas-Striche oder 22½ Grad je übersteigt. Auch Thom, Piddington, Meldrum[43]) und Mohn geben uns Belege für dieses Einströmen der Luft gegen das Centrum der Cyclonen.

Einen ausgezeichneten Beweis hiefür, sowie für die Drehung der Cyclonen auf der südlichen Erdhälfte hat uns Piddington[37c und d]) durch seine Bearbeitung des Tagebuches der Charles Heddle geliefert. Diese Brig wurde am Mittag des 22. Februar 1845, etwa 210 Seemeilen N. bei O. von Mauritius, von einem Orkan aus OSO. gefasst; sie lief die nächsten fünf Tage mit dem Winde und zwar ohne alle Segel, nachdem schon am ersten Tage das dicht gereffte Vormarssegel mit allem Uebrigen fortgeweht war; ihrem Tagebuch zufolge hat sie dabei die unten folgende, von Piddington verzeichnete Bahn innerhalb des Orkanes beschrieben. Sie hat also in dieser Zeit das Centrum dieser Cyclone fünfmal umkreist „wie eine Motte das Licht“, und zwar in demselben Sinne, wie ein Uhrzeiger sich dreht; zugleich näherte sie sich immer mehr der Mitte des Wirbelsturmes. — Piddington[37b]) giebt noch andere directe Beweise für das Einwärtsblasen der Cyclonenwinde, und hält für möglich, dass dasselbe in der

Nähe des Centrums zwei bis drei Compas-Striche betrage und schon manches gute Schiff gehindert habe, der verderblichen Mitte des Orkanes zu entrinnen. Auch erinnert er an die zahlreichen Fälle von Schiffen, welche beim Passiren des windstillen Cyclonencentrums in der Nachbarschaft von Land umgeben oder bedeckt waren von Land- und Seevögeln, Schmetterlingen und Fliegen, die sicherlich vom Sturmwind einfach mitgerissen seien, dem Inneren zu.



Fahrt der Brig Charles Heddle im Mauritius-Orkan vom 22. bis 27. Febr. 1845.

Die Geschwindigkeit und Heftigkeit des Windes innerhalb eines Wirbelsturmes wächst von aussen nach innen hin; daher müssen bei Angabe des Durchmessers die verschiedenen Windgeschwindigkeiten des äusseren Randes ebenfalls notirt werden. Beispielsweise schätzt Redfield die ganze Breite des Meeresstriches, auf welchem der Cuba-Orkan mit merklicher Windstärke sich zeigte oder wo das Wetter ein stürmisches Aussehen hatte, auf mehr als 900 und vielleicht 1000 Engl. Meilen, dagegen den Durchmesser dieses Sturmes als „Gale“ von gewöhnlicher sowohl als ungewöhnlicher Stärke auf mindestens 800, und denjenigen des orkanartigen inneren Theiles auf mehr als 500 Engl. Meilen. Dabei bemerken wir, dass in America eingeführt ist die folgende:

Windskale der Smithsonian Institution.*)

Grad.	Geschwindigkeit. (Seemeilen pr. Stunde.)	Druck. (Pfund pr. □ Fuss.)	Bezeichnung.
1	2	0,02	Very light breeze.
2	4	0,08	Gentle breeze.
3	12½	0,75	Fresh wind.
4	25	3,00	Strong wind.
5	35	6,00	High wind.
6	45	10,00	Gale.
7	60	18,00	Strong gale.
8	75		Violent gale.
9	90		Hurricane.
10	100		Most violent hurricane.

Auch bei dem auf Karte IV verzeichneten Orkane vom 12. bis 19. Mai 1863, welcher im Indischen Ocean zwischen 8⁰ und 15⁰ S. Br., sowie 87⁰ und 77⁰ O. L. wüthete[43]), wird der Durchmesser der ganzen Cyclone zu 1000 Seemeilen angegeben, wogegen derjenige Theil derselben, an dessen Umfang mindestens die Windstärke 9 von Beaufort's Skale herrschte, am 12. Mai nur 50, am 14. schon 180, am 16. und 18. Mai 400 und am 19. wieder nur 150 Seemeilen Durchmesser hatte. Es verdient hervorgehoben zu werden, dass das Centrum dieses Wirbelsturmes

*) Für die Englische Marine ist angeordnet und auch bei der Deutschen eingeführt die folgende, von Capt. Beaufort herrührende Windskale:

0	denotes	Calm		
1	„	Light Air	just sufficient to give	Steerage-way.
2	„	Light Breeze	with which a well-conditioned man-of-war, under all sail, and clean full, would go in smooth water, from	1 to 2 knots.
3	„	Gentle Breeze		3 to 4 knots.
4	„	Moder. Breeze		5 to 6 knots.
5	„	Fresh Breeze	in which the same ship could just carry close hauled	Royals, etc.
6	„	Strong Breeze		Single-reefs and top-gallant sails.
7	„	Moderate Gale		Double-reefs, jib etc.
8	„	Fresh Gale		Triple-reefs, courses, etc.
9	„	Strong Gale		Close reefs and courses.
10	„	Whole Gale	with which she would only bear	Close-reefed main-topsail and reefed foresail.
11	„	Storm	with which she would be reduced to	Storm-staysail.
12	„	Hurricane	to which she could show	No Canvas.

(Aus Reid's Attempt to develop the Law of Storms, 3d. ed., Lond. 1850.)

in zwei Tagen nahezu dreimal von dem Schiffe Earl of Dalhousie umkreist wurde, und dass auf seiner östlichen Seite der Wind mehr oder weniger gegen das Centrum blies.

Piddington[37b]) hält die Annahme für zulässig, dass hinsichtlich der Grösse eine vollständige Reihenfolge von Cyclonen existire: „von der Wasserhose, welche ein Wirbelwind wird, wenn „sie das Ufer erreicht, zum Tornado von einigen zehn oder hun- „dert Yards Durchmesser, und bis zu den grossen Orkanen des „Atlantischen oder Indischen Oceans; und insofern ist dieses „gewiss, als wir einerseits nicht sagen können, wie klein wahre „Cyclonen sein mögen, da wir sie bis zu muthmasslich weniger „als 100 Seemeilen und möglicherweise bis zu 50 Seemeilen „Durchmesser herab in den Indischen Meeren verfolgt haben. „Wenn wir anderseits zu den kleineren, Tornado-gleichen Cyclonen „unter etwa 50 Seemeilen Durchmesser kommen, so haben wir „bis jetzt keinen guten Beweis dafür, dass sie sich unveränderlich „in demselben Sinne drehen wie die grösseren Stürme auf der- „selben Erdhälfte.“

Redfield[35d]) schreibt den West-Atlantischen Orkanen einen Durchmesser von 50 bis 300 und mehr Engl. Meilen zu; doch erreichen sie sogar eine Ausdehnung von 1000 bis 1500 Seemeilen, besonders gegen die höheren Breiten hin. Bei allen genauer untersuchten Cyclonen hat man übrigens allmälige Ausdehnungen und Zusammenziehungen constatirt. Besonders heftig scheinen die kleineren Wirbelstürme zu sein: so die Teifuns, diese fürchterlichen Cyclonen des Chinesischen Meeres, denen Piddington einen Durchmesser von 60 oder 80 bis zu 180 oder 240 Seemeilen zuschreibt, und die kleineren Cyclonen der Bai von Bengalen, die er mit den Land-Tornados vergleicht, „welche „in tropischen Gegenden, zumal in Bengalen, buchstäblich Alles „auf ihrer Bahn zerstören, obgleich dieselben nur wenige hundert „bis 1000 Yards (3000 Fuss) breit sind.“ Auch die Atlantischen Orkane sind in Westindien, wo sie am schmalsten sind, ungleich heftiger als in höheren Breiten.

Im Centrum einer Cyclone herrschen entweder schwächere, unregelmässige Winde oder völlige Windstille. Es ist Reid's und Dove's Verdienst, durch Zusammenstellung zahlreicher Berichte das Vorkommen dieser schrecklichen Todtenstille in der Mitte der Wirbelstürme über allen Zweifel erhoben zu haben. So erzählt Dove[34b]) von Nassau (Bahama-

Inseln) 1. August 1813: „Ungefähr 2½ Uhr Nachmittags erreichte der Sturm seine grösste Höhe, und seine Wuth dauerte bis fünf Uhr, wo sie plötzlich aufhörte. Eine halbe Stunde lang folgte nun eine so vollkommene Windstille, dass man sie nur mit dem Tode nach den schrecklichsten Convulsionen vergleichen konnte. Die Einwohner der Colonie, vertraut mit der Natur der Stürme, benutzten während dieser Zeit jede mögliche Vorsichtsmassregel, um sich gegen den zweiten Theil des Sturmes, welchen sie von SW. her erwarteten, zu sichern. Dieser kam auch mit der grössten Wuth ungefähr gegen 6 Uhr." In St. Thomas nahm am 2. August 1837 der aus NW. wüthende Orkan bis 7½ Uhr zu an Heftigkeit; dann trat eine Todtenstille ein, und um 8¼ Uhr fing plötzlich der Orkan, jetzt aus Südwesten, wieder an zu toben. Aehnlich blies in Antigua, wie Fitz Roy[42]) erzählt, der Orkan vom 12. August 1835 während seiner ersten Hälfte aus Norden und während der zweiten, nach einer Windstille von 20 Minuten, aus Süden. Den Durchmesser des windstillen Raumes hat Thom für den Mauritius-Orkan vom April 1840 zu 21 Seemeilen bestimmt; Piddington berechnete ihn für die Calcutta-Cyclone von 1842 zu 11 und für diejenige an der Küste Malabar vom April 1847, deren heftigerer Theil 150—180 Seemeilen breit war, zu 18½ Seemeilen. Ja Piddington hat bei einer Ostindischen Cyclone vom November 1845 diesen centralen Raum sogar 30 Seemeilen breit gefunden, während der Orkangürtel ringsum nicht über 35 Seemeilen breit war.

Uebrigens scheint eine völlige Windstille im Innern von Cyclonen nur unter den Tropen vorzukommen; uns wenigstens ist kein Beispiel derselben aus der gemässigten Zone bekannt. Selbst beim Cuba-Orkan, der doch bis zum 5. October 1844 der heissen Zone angehörte, spricht Redfield nur von einer „Lull oder Abnahme der Windstärke in der Mitte des Orkans", nicht von einer Calm oder Windstille. Er fügt hinzu, dass die innere Fläche, auf welcher diese Lull herrscht, sich gewöhnlich stark vergrössert, während der Sturm zu höheren Breiten fortschreitet. In sehr erweiterten Stürmen soll[35b]) diese Fläche schwächerer und unregelmässiger Winde, um welche herum der eigentliche Sturmwind toset, bisweilen bis zu einem Durchmesser von mehreren hundert Seemeilen zunehmen. Auch wo im Centrum totale Windstille herrscht, scheint der Sturmwind in der Regel durch eine Lull oder auch durch häufige Windstösse in dieselbe überzugehen.

Der Sturmwind einer Cyclone bläst überhaupt nicht gleichmässig, sondern meistens in heftigen Böen und Stössen (squalls and gusts). Gerade diese plötzlichen Windstösse, welchen manchmal kurze Windstillen vorhergehen, sind den Schiffen so überaus gefährlich, zumal da ihre Richtung immer mehr oder weniger schwankt. Nicht selten, besonders in Winter- und Landstürmen, sind die Winde auf verschiedenen Seiten der Cyclonenaxe sehr ungleich an Heftigkeit und Ausdehnung; so kommt es namentlich vor, dass die Form des Wirbelsturmes nicht genau kreisförmig, sondern mehr oder weniger oval ist. Andere Unregelmässigkeiten entstehen daher, dass manchmal zwei oder mehrere Stürme zugleich herrschen und dabei theilweise in einander übergreifen und dieselbe Fläche bedecken oder überstreichen.

Dichte Wolken und starke Regengüsse sind ständige Begleiter der Wirbelstürme, meistens auch Donner und Blitze. Fast in allen den zahlreichen Schiffstagebüchern und anderen Berichten, welche Reid über die Cyclonen veröffentlicht hat, ist von starkem oder heftigem Regen die Rede. Thom[38]) erklärt, keine Erscheinung begleite so regelmässig die Cyclonen des Indischen Orcans und sei so erstaunlich, wie die enorme, aus den bewegten Luftmassen niederstürzende Menge Wassers. „Hunderte von Meilen weit auf allen Seiten des Wirbels lagert eine dichte Wolkenschicht, welche in Strömen und ohne Unterbrechung Regen ausgiesst. Dieser Process dauert Wochen lang und ist anscheinend characteristisch für den Orkan in allen seinen Phasen. Das Nahen eines solchen Sturmes kann beinahe vorausgesagt werden an dem ununterbrochenen Wolkenlager, welches langsam den Himmel überzieht, zuerst in grosser Höhe, allmälig aber zu unteren Schichten niedersteigend und von zunehmendem Dunkel begleitet, bis es zuletzt auf der Erde ruht und zu regnen anfängt. Diese Anzeichen werden in einer Entfernung von 200 oder 300 Seemeilen vor dem Wirbel wahrgenommen und dürften zu dem Schlusse führen, dass die Bewegung der Luft in den oberen Regionen ausgedehnter ist als in den unteren.“ Die Condensation des Wasserdampfes erstreckt sich, wie Thom an einer anderen Stelle hervorhebt, viel weiter auf der vorderen als auf der hinteren Seite der Cyclonen. Auch bei den Westatlantischen Stürmen erstreckt sich der Regen- oder Schneefall oft in irgendwelcher Richtung weit über die beobachteten Grenzen des Sturmes

hinaus; doch herrscht im Allgemeinen nur in einem Theile dieser Cyclonen Regen oder nasses Wetter, in einem anderen dagegen schönes, helles Wetter[35h]). Redfield macht schon 1833 die Bemerkung, dass in den höheren Breiten die letzte Hälfte dieser Stürme meistens von „gebrochenem oder klarem Wetter“ begleitet ist. Die Regenhälfte der Cyclone ist von einer grauen Wolkenschicht überdeckt, die bei Annäherung des Sturmes als düstere Wolkenbank am Horizonte aufzusteigen pflegt.

Zwischen dieser grossen, den Sturm überdeckenden Stratuswolke und der Erdoberfläche sieht man in verhältnissmässig geringer Höhe, welche Redfield auf 500 bis 2500 Fuss schätzt, die characteristischen fliegenden Wolken (storm-scuds) dahineilen. Auch diese vielfach zerrissenen Storm-scuds sind dem sorgfältigen Studium Redfield's[35m]) nicht entgangen. Langjährige Beobachtungen zu New-York lieferten ihm das beachtenswerthe Ergebniss, dass ihre Bewegungsrichtung nicht, wie diejenige der Winde unten, gegen das Innere des Wirbelsturmes geneigt ist, sondern vielmehr nach aussen hin. Bei sechzig derartigen Beobachtungen während der Jahre 1832 bis 1842 flogen diese Sturmwolken regelmässig ohne Ausnahme in einer Richtung fort, die nach rechts, und zwar durchschnittlich um zwei volle Striche oder $22^1/_2$ Grad, von der unteren Windrichtung abwich. Also:

Während ganz unten der Sturmwind in Spiralwindungen allmälig nach innen strömt, treibt er oben die flüchtigen Sturmwolken in Spiralwindungen nach aussen fort und entfernt sie von der Axe der Cyclone. Damit mag eine andere bekannte Thatsache in Verbindung stehen, dass nämlich die Vorerscheinungen eines Sturmes in der Wolkenregion oft viele Stunden im Voraus bemerkt werden, ehe unten ein Wechsel in den Bewegungen der Luft eintritt. Schon der alte „Seekönig“ Dampier giebt uns eine Schilderung dieser Vorerscheinungen bei Beschreibung der Chinesischen Teifuns der Küste Tongking; er sagt: „Ehe diese Wirbelwinde herankommen, erscheint in NO. eine schwere Wolke, sehr schwarz unten am Horizont, weiter oben von tief dunkelrother Farbe, höher hinauf glänzender und endlich ganz oben fahl und von einer weisslichen Farbe, welche die Augen blendet. Diese Wolke ist schrecklich und Besorgniss erregend; man sieht sie manchmal zwölf Stunden vor Ankunft des Wirbelwindes. Wenn sie anfängt sich rasch zu bewegen, kann man sicher sein, dass der Wind frisch blasen

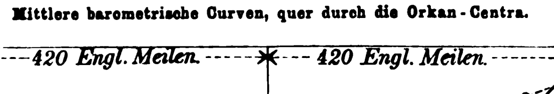
wird. Mit Heftigkeit kommt er heran und bläst zwölf Stunden lang mehr oder weniger aus NO., begleitet von schrecklichen Donnerschlägen, scharfen und häufigen Blitzen und äusserst heftigem Regen. Wenn der Wind sich zu legen beginnt, hört der Regen plötzlich auf, und es folgt eine Windstille. Diese dauert ungefähr eine Stunde, und sodann bläst der Wind aus SW. ebenso heftig und lange wie vorher aus NO."

Dieses Uebergreifen des Sturmes in den oberen Regionen wird auch angezeigt durch den Fall des Barometers, welcher gewöhnlich beginnt, ehe noch irgend welche andere Anzeichen der herannahenden Cyclone wahrzunehmen sind. Ein ungewöhnlich niedriger Barometerstand wird in allen Wirbelstürmen wahrgenommen, und zwar fällt das Barometer immer tiefer, je näher man dem Centrum eines solchen Sturmes kommt. Die barometrischen Anzeichen einer solchen Cyclone erstrecken sich gewöhnlich bis weit über die beobachteten Grenzen ihrer Wirksamkeit hinaus. Auch hat bekanntlich das Barometer durch frühzeitige Warnung schon manches Schiff vom drohenden Untergange gerettet, und sollte deshalb auf keinem überseeischen Schiffe fehlen. Wir geben beispielsweise die Barometerbeobachtungen, welche Redfield für den Cuba-Orkan vom 4.—7. October 1844 (Karte I) zusammengestellt hat. Im Mittel betrug

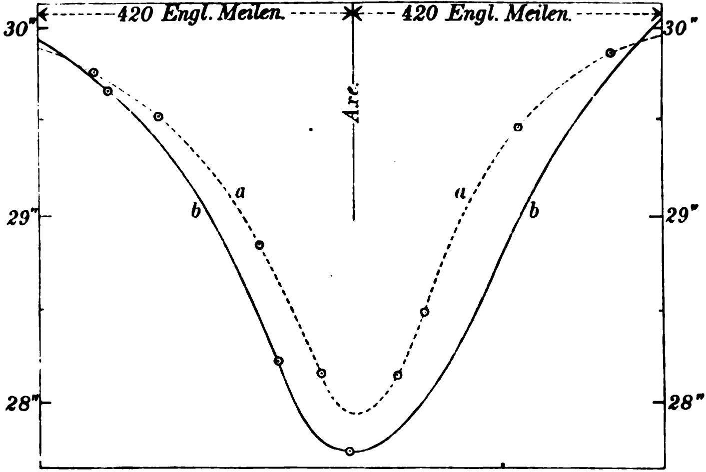
der Barometerstand	29",76	29",50	28",84	28",13	28",45	29",45	29",86
im Abstande von	349	260	126	0	98	230	375
Engl. Meilen		links		und		rechts	

von der Mitte dieses Orkanes. In der folgenden, Redfield[35a]) entlehnten Figur ist die punktirte Curve *a* die graphische Darstellung dieser Zahlen, wobei wir bemerken, dass die Breite dieses Diagramms die Entfernung von 840 Engl. Meilen zwischen Washington und den Bermudas-Inseln repräsentirt. Die andere Linie *b* ist die Barometer-Curve des Cap Verde- und Hatteras-Orkanes für den 7. September 1853, dieses besonders ausgedehnten Wirbelsturmes, welcher von 142 Schiffen, über welche Redfield Berichte erhielt, nicht weniger als 75 vernichtete oder entmastete und 46 stark beschädigte, so dass nur bei 21 keine Schäden angegeben waren. Und noch dazu wurde keiner dieser Unglücksfälle durch Felsen, Untiefen oder leewärts gelegenes Land verursacht; auch konnte Redfield über das Schicksal einer

weit grösseren Anzahl von Schiffen, die ohne Zweifel diesem Sturme ausgesetzt waren, Nichts erfahren.

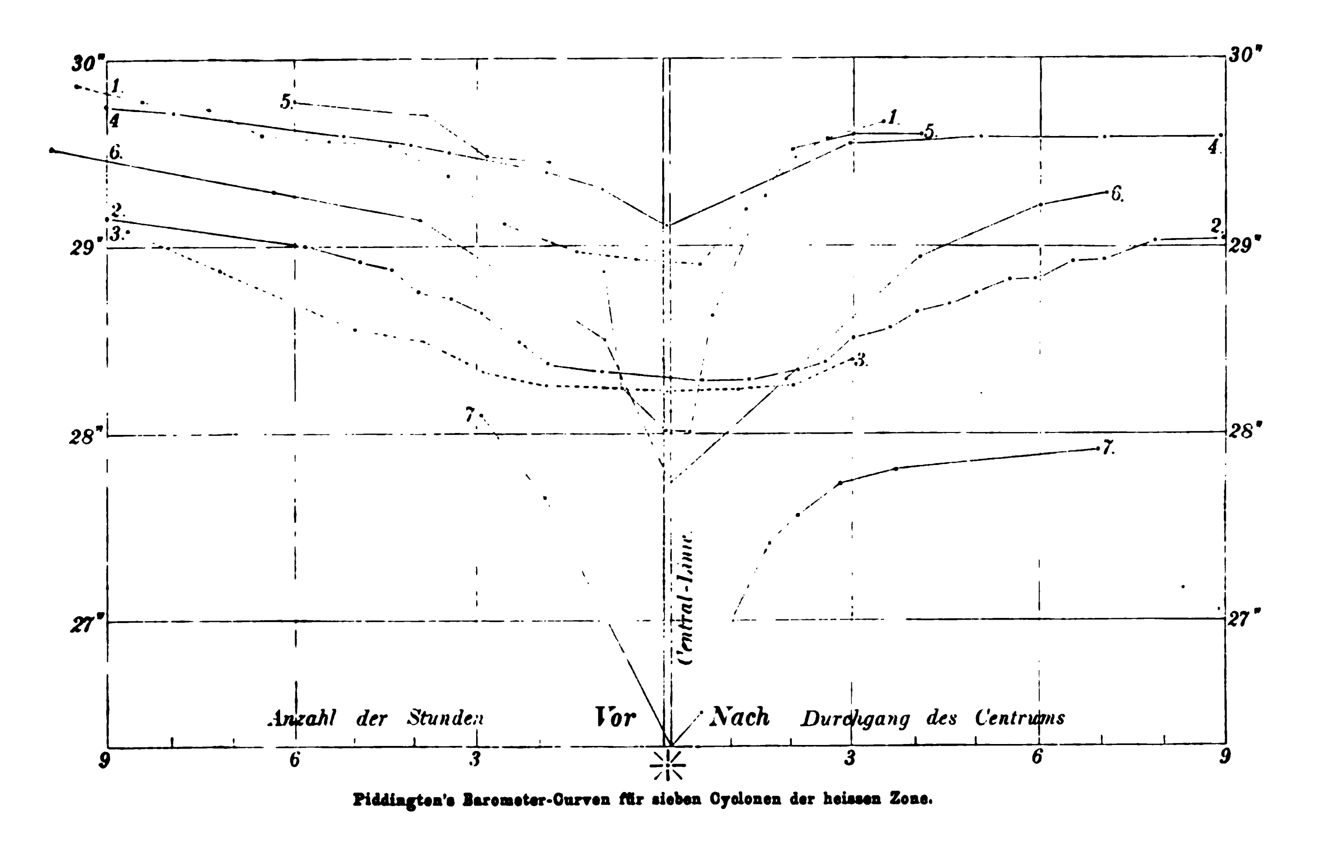


Mittlere barometrische Curven, quer durch die Orkan-Centra.



a. Barometer-Curve des Cuba-Orkanes, 6. October 1844.
b. do. des Cap Verde- und Hatteras-Orkanes, 7. September 1853.

Wir besitzen eine Anzahl interessanter Barometerbeobachtungen von Schiffen, welche durch das luftdünne Centrum von Cyclonen hindurchgegangen sind und dort manchmal einen ausserordentlich geringen Luftdruck wahrgenommen haben. So zählt Piddington 14 Fälle auf, in denen das Barometer um $1^1/_2$ bis $2^7/_{10}$ Zoll Engl. gesunken war. Wegen der eigenen Bewegung der Schiffe liefern uns jedoch diese Beobachtungen keinen sicheren Aufschluss über die Schnelligkeit, mit welcher das Barometer bei einer Annäherung gegen die Cyclonenmitte hin sinkt. Leider ist nur selten an solchen Orten des festen Landes, über welche das Centrum einer Cyclone hinwegging, das gleichzeitige Spiel des Barometers aufgezeichnet worden. Doch verdanken wir Piddington die beistehende Karte von sieben auf diese Art erhaltenen Barometer-Curven, und zwar beziehen sich dieselben auf folgende Orkane der heissen Zone: 1) Madras, October 1836; 2) Mauritius, März 1836; 3) Calcutta, Juni 1842; 4) Madras, Mai 1841; 5) St. Thomas, August 1837; 6) Havana, October 1846; 7) Duke of York, Kedgeree an der Mündung des Hooghly, 1833.

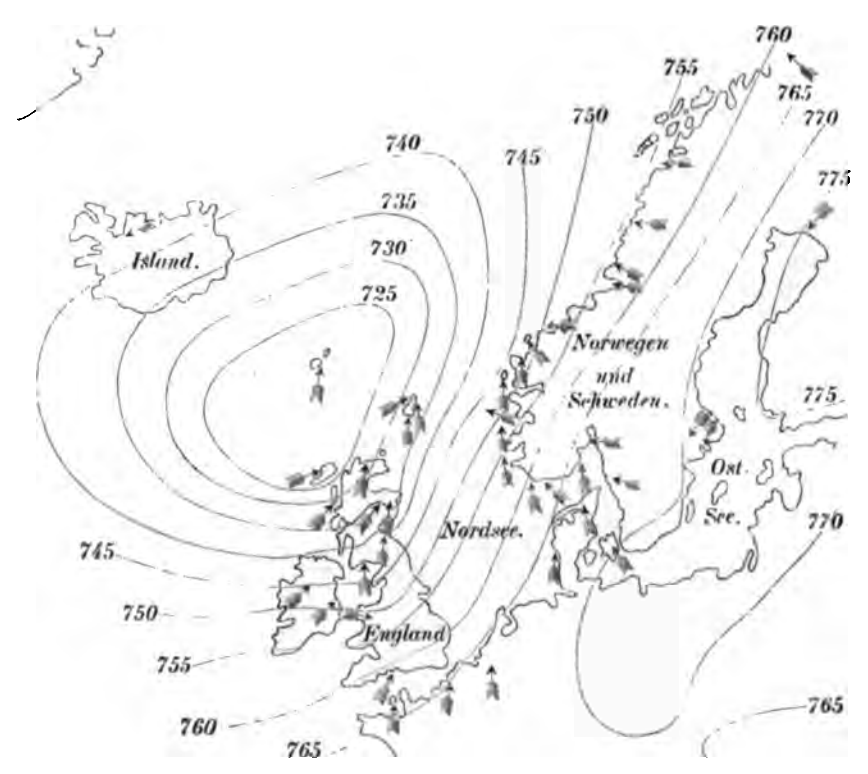


Piddington's Barometer-Curven für sieben Cyclonen der heissen Zone.

Wie diese Karte uns lehrt, ist der Fall des Barometers in verschiedenen Cyclonen ein sehr ungleicher. Die Grösse der Cyclonen und ihres stilleren centralen Theiles, namentlich aber die Geschwindigkeit, mit welcher sie über den Beobachtungsort hinwegschreiten, sind von grossem Einfluss auf die Form ihrer barometrischen Curven. So dauerte bei dem Mauritius-Orkan (2) nach Thom's Angabe die Windstille drei bis vier Stunden, beim St. Thomas-Orkan (5) dagegen, wie oben erwähnt wurde, nur $^{3}/_{4}$ Stunden; und wahrscheinlich bewegte sich der erstere Orkan viel langsamer vorwärts als der letztere, so dass auch das Barometer in Mauritius weniger rasch fallen und wieder steigen musste als in St. Thomas. Im Allgemeinen scheint unter den Tropen der Fall des Barometers gegen die Cyclonenmitte hin viel jäher und rascher Statt zu finden als in den gemässigten Zonen; weil aber in letzteren die Breite der Cyclonen grösser ist, so wird das Sinken des Quecksilbers schon in grösseren Entfernungen vom Centrum merklich. Deshalb ist nach Dove die Gesammtverminderung des Luftdruckes viel bedeutender in den gemässigten Zonen als in der heissen; „man kann jene einem weiten Thalkessel vergleichen mit sanft abfallenden Seiten, diese einem tiefen Schlunde mit steilen Wänden."

Den besten Ueberblick über die Verminderung des Luftdruckes im Innern einer Cyclone erhält man, wenn für einen bestimmten Zeitpunkt an möglichst vielen Orten die Barometerstände ermittelt und sodann diejenigen Orte, in denen das Quecksilber die gleiche Höhe hat, durch sogenannte isobarometrische Curven verbunden werden. Diese Arbeit, welche nur durch das Zusammenwirken zahlreicher Beobachter möglich gemacht wird, ist bisher leider nur für Europäische Stürme ausgeführt worden, namentlich durch Mohn.[39]) In seinem Sturmatlas des meteorologischen Instituts von Norwegen hat Mohn diese isobarometrischen Linien für Barometerstände von 725, 730, 735, 740 . . . . Millimetern verzeichnet; auch die folgende Figur verdanken wir ihm. Die Linien gleichen Barometerstandes sind nicht genau kreisförmig, wie ja auch der Wind in den Wirbelstürmen nur annähernd in Kreislinien bläst, sondern von mehr oder weniger ovaler Form; auch pflegen sie an einer oder an mehreren Seiten sich enger an einander zu drängen als an den übrigen. Mohn findet für Europa das Buys-Ballot'sche Gesetz bestätigt, wonach der Wind eine solche Richtung hat, dass wenn man ihm

den Rücken zukehrt, der Ort des tiefsten Barometerstandes sich links und ein wenig nach vorne befindet. Der Wind umkreist



Sturm vom 24. Januar 1868, Abends.

also die luftdünne Mitte der Sonne entgegen, aber nähert sich ihr zugleich in Spirallinien, indem er die isobarometrischen Curven nach innen zu überschreitet.

Wie die Wettersäulen so verändern auch die Wirbelstürme ihren Ort, indem ihr luftdünnes Centrum mit variabler Geschwindigkeit fortschreitet. Sehr häufig entstehen sie in der heissen Zone und bewegen sich dann gewöhnlich in parabolischen Bahnen bis in die gemässigten und zuweilen bis in die kalten Zonen fort. Viele Cyclonen jedoch nehmen in den gemässigten Zonen ihren Ursprung und haben dann, soviel wir bis jetzt wissen, allemal eine östliche Bewegung. Sehr deutlich ist dieses Fortschreiten bei dem Cuba-Orkan auf unserer

Karte I wahrzunehmen; derselbe bewegte sich vom Morgen des fünften bis zum Abend des siebenten October 1844 längs der Americanischen Küste hin von Cuba bis Neufundland. Einen Ueberblick über eine grosse Anzahl von Sturmbahnen bieten uns die Karten II und III, welche wir Redfield [35a,q]), und IV, welche wir Piddington[37b]) verdanken. Die ersteren beiden lehren uns, dass im nördlichen Theile sowohl des Atlantischen als auch des grossen Oceans die Cyclonen nach Nordwesten fortzuschreiten pflegen, so lange sie in der heissen Zone sich befinden, dass sie aber in der Gegend des 20. bis 30. Breitengrades ziemlich regelmässig nach NO. umbiegen und dass sie in den höheren Breiten stets in nordöstlicher Richtung sich fortbewegen. Eine Ausnahme bilden auf Karte II die geradlinigen Bahnen I, V, XII, ferner der Cuba-Orkan XIV und der wahrscheinlich aus dem Stillen Ocean herübergekommene Orkan XIII, endlich ganz besonders die Reid'schen Wirbelstürme vom 10. October und 2. August 1837, welche ich nebst dem Mittelländischen vom 27. December 1848 aus Piddington's Horn-Book in Redfield's Karte eingetragen habe. Maury[45]) macht mit Recht darauf aufmerksam, dass die Westindischen Orkane, nachdem sie den Golfstrom erreicht haben, diesem folgen.

Hervorzuheben ist, dass Redfield und Reid ihre Sturmbahnen nur so weit in ihre Karten aufgenommen haben, als ihr Verlauf mit Sicherheit festgestellt werden konnte; Redfield selbst hält es für wahrscheinlich, dass manche von seinen Orkanen sich noch viel weiter erstreckt haben, und erklärt ausdrücklich die Voraussetzung, es müssten die Cyclonen dort entstanden sein, von wo die ersten Beobachtungen über sie einliefen, für durchaus irrig. Mehrere der Atlantischen Wirbelstürme haben augenscheinlich Africanischen Ursprung: so der oben (pag. 87) erwähnte vom August und September 1853 (Nr. XXIV der Karte II), welcher vom grünen Vorgebirge aus den Ocean überschritt, an den Küsten der Vereinigten Staaten umbog, dann einerseits Neufundland, anderseits die Britische Westküste bestrich*), und sich endlich nach 13tägigem, verderblichen Wüthen gegen das Eismeer hin verlor.

*) An der Südwestspitze Irland's entging in der Nacht vom 10. bis 11. Septbr. 1853 der „Guiding Star", ein Englischer Klipper von 1200 Tonnen, auf welchem mein Schwager Prof. Wislicenus sich befand, mit genauer Noth und unter Verlust seiner Masten dem Verderben.

Die Sturmbahnen des südlichen Indischen Oceans auf Karte IV zeigen meistens dieselbe parabolische Krümmung wie diejenigen unserer nördlichen Erdhälfte: in niederen Breiten haben sie meistens südwestliche, in der südlichen gemässigten Zone dagegen südöstliche Richtung. Manche von ihnen könnten, abgesehen von dem Längenunterschiede, als Spiegelbilder Atlantischer Cyclonenbahnen hinsichtlich der Aequator-Ebene aufgefasst werden. Die eilf punktirten Sturmbahnen aus den sechziger Jahren, von denen nicht weniger als acht auf die ersten drei Monate des Jahres 1860 fallen, habe ich nach Meldrum's Angaben[43]) in Piddington's Karte eintragen lassen.

Uebrigens haben in manchen Meeren die Cyclonenbahnen durchaus nicht einen so regelmässigen Verlauf, wie ihn unsere vier Karten zeigen. So durchkreuzen sich die Bahnen der Chinesischen Teifuns, wie die von Dove wiedergegebene Karte Piddington's beweist, auf das Mannigfaltigste; wir finden unter ihnen süd- und nordwestliche so bunt durch einander, dass es nicht möglich sein dürfte, hier eine Regel zu entdecken. — Die Europäischen Wirbelstürme bewegen sich fast alle nach Osten mit geringer nördlicher oder südlicher Abweichung; Dasselbe scheint von den Wirbelstürmen der Vereinigten Staaten [40a,b]) zu gelten, soweit dieselben nicht aus Westindien herüber kommen. Wir erinnern beiläufig daran, dass auch die Nordamericanischen Tornados östlichen Kurs haben.

Die Geschwindigkeit, mit welcher das Centrum einer Cyclone fortschreitet, ist wohl zu unterscheiden von der eigentlichen Windgeschwindigkeit im Wirbelsturme: letztere beträgt 70 bis 100 und mehr Seemeilen in der Stunde, erstere bei den Westindischen Orkanen meistens nur 14 bis 20 Seemeilen, also nur ein Fünftel der Windgeschwindigkeit. Doch hat Redfield nachgewiesen, dass die Atlantischen Cyclonen manchmal in höheren Breiten mit einer Geschwindigkeit von 50 Englischen Meilen per Stunde fortschreiten, und die Europäischen Wirbelstürme legen, Mohn's Untersuchungen zufolge, regelmässig 24 bis 30 Seemeilen per Stunde zurück.*) Weit geringer scheint die gewöhnliche Geschwindigkeit des Fortschreitens bei den Cyclonen

*) Für die Americanischen Tornados fanden wir eine ähnliche Geschwindigkeit des Fortschreitens, nämlich im Mittel 990 Meter per Minute oder 32 Seemeilen per Stunde.

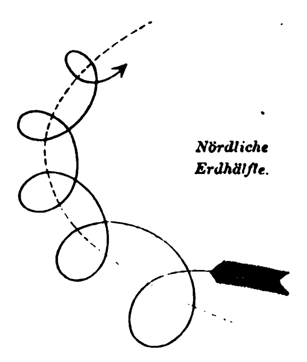
aller übrigen Meere zu sein. Sie beträgt im Indischen Ocean nur 3 bis 10 Seemeilen, in der Bai von Bengalen nach Piddington 3 bis 15 und im Chinesischen Meere 7 bis 24 Seemeilen per Stunde. Im Indischen Ocean hat man sogar stillstehende Cyclonen erlebt: z. B. der oben (pag. 82) erwähnte Orkan vom 12. bis 19. Mai 1863 legte am zweiten Tage nur etwa 17 Seemeilen d. h. in der Secunde einen Fuss zurück, so dass ein gewöhnlicher Fussgänger sich fünfmal so schnell bewegt wie das Centrum dieses Wirbelsturmes; zugleich aber erweiterte sich sein sturmartiger innerer Theil am 13. Mai von 90 Seemeilen Durchmesser auf 180, so dass eine beträchtliche Strecke der Meeresoberfläche, die er am ersten Tage bereits überschritten hatte, von Neuem in seinen Bereich gezogen wurde.

Die Geschwindigkeit des Centrums ist nicht nur für verschiedene Orkane sehr ungleich, sondern auch für einen und denselben Orkan sehr veränderlich. Z. B. der Cap Verde- und Hatteras-Orkan XXIV auf Karte II beschrieb in 284 Stunden eine Bahn von 7272 Englischen Meilen Länge, legte also durchschnittlich 26 Meilen per Stunde zurück; aber in der heissen Zone betrug seine Geschwindigkeit nur 22 Meilen per Stunde, sie nahm sogar am Scheitel der Bahn bis zu 13 Meilen ab, wuchs jedoch später in den höheren Breiten bis zu 50 Meilen. Denn wie Redfield[35a]) ermittelte, legte das Centrum dieses Wirbelsturmes allmälig

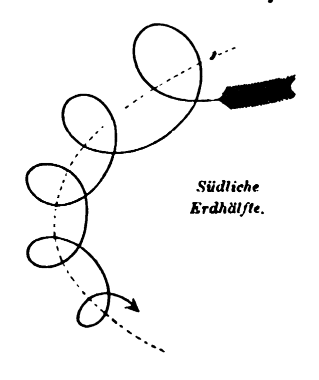
in	84	50	62	7	36	30	15(?)	Stunden
zurück:	1924	980	814	175	1102	1505	758	Engl. Meilen,
also pr. St.:	22	19½	13	25	13½	50	50½	Engl. Meilen.

Eine ähnliche Abnahme der Geschwindigkeit des Fortschreitens in der Nähe der Biegungsstelle haben Reid, Thom, Piddington und Meldrum bei Cyclonen des Indischen Oceans und der Asiatischen Meere nachgewiesen.

Wie ein Wagenrad indem es sich dreht zugleich mit seiner Axe fortrückt, so nimmt auch die Luft in den Cyclonen, während sie um das Centrum kreist, gleichzeitig an der fortschreitenden Bewegung des Centrums Theil. Die wirklichen Bahnen des Windes längs der Erdoberfläche sind deshalb eine Art von Radlinien, und zwar, wie beistehende Skizze andeutet, auf der nördlichen Halbkugel links-, auf der südlichen rechtsgewundene. Die Schleifen dieser Radlinien müssen allmälig sich verengen, weil der Wind sich dem Centrum nähert; die Bahn dieses letzteren ist



Bahnen des Sturmwindes in Cyclonen.



durch die punktirten Linien angedeutet. — Wir haben oben pag. 80 von dem wunderbaren fünfmaligen Kreislauf der Brig Charles Heddle die Skizze wiedergegeben, welche Piddington auf Grund der, dem Journal gemäss durchlaufenen Distanzen und Kurse verzeichnet hat. In Wirklichkeit aber hatte das Schiff schliesslich nicht, wie aus dem Tagebuch sich ergab, 111 Seemeilen nach N. 42° O. zurückgelegt, sondern es war, wie durch spätere Ortsbestimmungen ermittelt wurde, bei der südwestlichen Bewegung des Wirbelsturmes um 366 Seemeilen nach S. 50° W. verschlagen worden, hatte also im Ganzen während 120 Stunden eine Versetzung von 477 Seemeilen oder 4 Seemeilen per Stunde gegen S. 52° W. gehabt. Seine wahre Bewegung wird ziemlich getreu durch den unteren Theil der nebenstehenden Skizze dargestellt, während die frühere Skizze pag. 81 uns von seiner relativen Bewegung hinsichtlich des Wirbelsturmes ein Bild giebt.

Das Fortschreiten der Cyclonen macht es möglich, die verschiedenen Seiten derselben als vordere und hintere oder als rechte und linke zu unterscheiden. In den Wirbelstürmen der nördlichen Erdhälfte hat der Wind auf der linken Seite mehr oder weniger die entgegengesetzte und auf der rechten mehr dieselbe Richtung, wie das vorwärts rückende Centrum; auf der südlichen Erdhälfte verhält es sich umgekehrt. Auf beiden Hemisphären dreht sich die Windfahne in demselben Sinne wie ein Uhrzeiger, wenn die rechte Seite, und in entgegengesetztem Sinne, wenn die linke Seite eines Wirbelsturmes über sie hinwegschreitet, wie sehr leicht die Anschauung lehrt und die Erfahrung bestätigt. Die vordere Seite einer Cyclone soll immer von viel längerer Dauer sein als die hintere; Piddington erklärt Dieses für eine bekannte Thatsache, die keine Belege er-

[illegible]

[illegible]

Wir werden von den grossartigen mechanischen Leistungen der Wirbelstürme im nächsten Abschnitte noch viel bedeutendere Beispiele kennen lernen und wollen uns hier damit begnügen, die vom Sturme verursachte Aufregung des Meeres zu schildern. Sehr schön beschreibt schon ein alter Römischer Dichter diesen Aufruhr der Elemente**: „Wie im geschlossenen Zuge stürzen die Winde hervor und durchsausen im Wirbel die Länder. Sie stürzen auf das Meer; der Südost, der Süd und der sturmschwangere Südwest wühlen zusammen es ganz aus den untersten Tiefen auf, und wälzen ungeheure Fluthen an's Gestade. Wolken entziehen plötzlich den Blicken der Schiffer Himmel und Licht; schwarze Nacht bedeckt das Meer. Es donnert das Himmelsgewölbe, und von häufigen Blitzen erglänzt der Aether; Alles droht den Männern sofortigen Tod." — Was des Dichters Phantasie

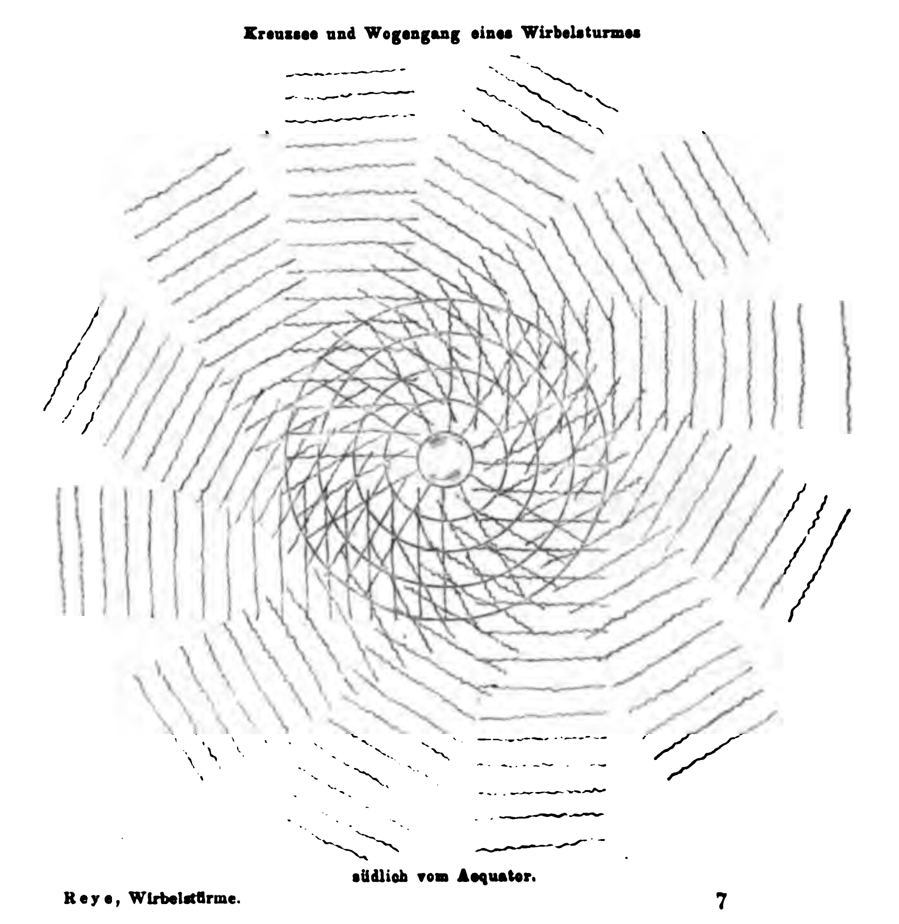
*) Auch Thom sagt, der Ort des tiefsten Barometerstandes befinde sich gelegentlich etwas vor dem Centrum.

**) Virgilius in der Aeneide I, 82.

hier schildert, wie oft finden wir es in den Tagebüchern einfacher, nüchterner Seeleute in noch lebhafteren Ausdrücken wiederholt! Wie oft lesen wir in seemännischen Berichten von Wirbelstürmen die Wörter: „tremendous, frightful, cross, confused, outrageous sea“, finden wir die Wellen verglichen mit Bergen, Pyramiden und Kirchthürmen!

Thom sagt gelegentlich des Rodriguez-Orkanes: „In rotirenden Stürmen ist am meisten die See zu fürchten. Sie wird geschildert als fürchterlich, sich kreuzend, wirr, unmässig, vom Winde aus jeder Himmelsgegend in pyramidalen Massen gehoben, und ist mit der Brandung an Felsenriffen verglichen worden . . . In der Nähe des Centrums eines Orkanes ist ein Schiff immer unlenkbar, selbst wenn es nicht Masten oder Steuerruder verloren

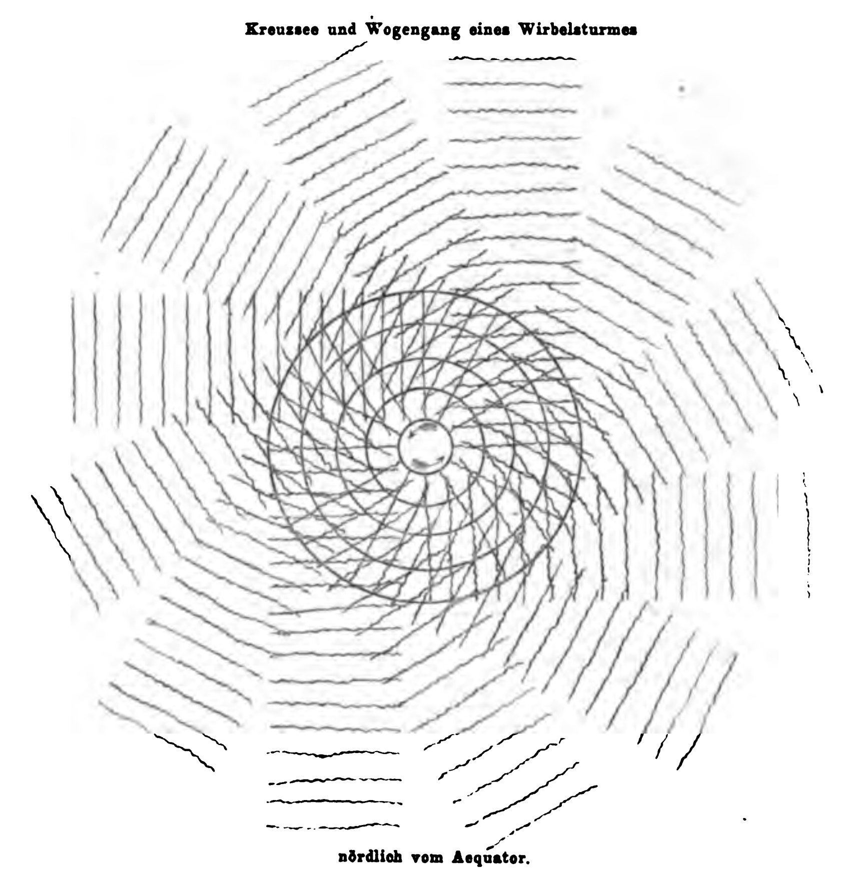
Kreuzsee und Wogengang eines Wirbelsturmes



südlich vom Aequator.

hat; die Windstillen und die schrecklichen Windstösse, welche rasch auf einander folgen, sind hiefür schon ausreichend. Wenn wir aber den grimmen Kampf tobender Wassermassen in Betracht ziehen, so ist nur zu verwundern, wie ein Fahrzeug solch ein Begegniss überstehen kann.“ Besonders characteristisch für die Cyclonen ist das wirre Durcheinanderlaufen und gegenseitige Durchkreuzen der Wogen, wobei eben nicht selten die pyramidalen, thurmartigen Wellenberge sich bilden. Selbst bei stillstehenden Wirbelstürmen muss eine derartige krause See entstehen; denn die Wellen, welche vom Sturmwind an einer Stelle erzeugt werden, laufen weiter nach anderen Punkten des Orkanes, wo der Wind eine andere Richtung hat. Die hier beigefügten Figuren von Reid geben eine ungefähre Vorstellung von diesem Durcheinanderlaufen der Wogen. In viel stärkerem Masse aber

Kreuzsee und Wogengang eines Wirbelsturmes



nördlich vom Aequator.

müssen sich die Wellen durchkreuzen, wenn das Centrum des Sturmes allmälig weiter rückt.

Beispielsweise geben wir Piddington's Auszug aus dem Tagebuch des Schiffes Futtle Rozack[36b]) wieder. Die Cyclone vom November 1843 (Nr. VIII unserer Karte IV), in welche dieses Schiff im Indischen Ocean gerieth, bewegte sich äusserst langsam, höchstens $2^3/_4$ Seemeilen pr. Stunde vorwärts. Bei ihrer Annäherung geräth das Schiff in „eine ausserordentlich lange Dünung von Süden, und um 7 Uhr begegnet eine hohe NNW. See diesem südlichen Wogengang und erzeugt so eine äusserst unruhige See. In den Böen hat die See ein seltsames Aussehen; die beiden Wellenzüge schlagen mit ihren Kämmen zusammen und schiessen zu einer erstaunlichen Höhe empor; vom Westwind gepackt wird das Wasser als dichter Schaum bis zu unseren Mastspitzen hinaufgetrieben. Der ganze Horizont hat das Ansehen einer schweren Brandung.“ Später inmitten der Cyclone bekommt das Schiff „schreckliche Windstösse aus NO., die mit unbegreiflicher Wuth blasen. Die See erhebt sich in ungeheuren Pyramiden, hat jedoch keine Geschwindigkeit, sondern hebt und senkt sich wie ein siedender Kessel.“ Am Mittag des 29. November ist die See „aufgeregter und wirrer als je; sie steigt in unförmlichen Haufen empor, und fällt wieder herab, ohne nach irgend einer Richtung zu laufen.“ — Selbst hinter den Cyclonen sind die Wogen häufig noch so heftig und namentlich so unregelmässig, dass daselbst schon manches gute Schiff trotz der Abnahme des Windes in grosse Gefahr gerieth, seine Masten zu verlieren.

Auf offener See läuft die vom Orkan erzeugte schwere Dünung nach beiden Seiten weit über die eigentlichen Grenzen der Sturmbahn hinaus, nach Thom's Angaben sogar 300—400 Seemeilen weit; häufig schreitet dieselbe mit ihren Rollern und ihrer Brandung den Cyclonen auch weit voraus, manchmal um 24 Stunden. Reid[36b]) hörte sogar drei volle Tage, bevor der Orkan vom September 1839 die Bermudas-Inseln erreichte, die Wogen laut an den südlichen Ufern sich brechen. Dieses wird begreiflich durch die Bemerkung Reid's, dass er selbst 1836 an der Englischen Südküste die Höhe der Wellen gewöhnlicher Stürme zu 12 Fuss und ihre Geschwindigkeit zu 12 Seemeilen pr. St. ermittelt habe, dass ferner Capt. Alderson 1837 in derselben Gegend die Höhe zu $13^1/_2$ Fuss und ihre Geschwindigkeit zu 19 Seem. bestimmt, und dass Fitz Roy in tiefer See des Atlantischen Oceans Wellen von

60 Fuss Höhe, vom Wellenthal angerechnet, gemessen habe.*) Wenn nun diese hohen Wellen auch nur 19 Seemeilen pr. St. zurücklegen, so können sie doch einem Wirbelsturme, in welchem sie entstehen, weit vorauseilen, wenn derselbe langsamer fortschreitet, als sie.

Von den Wogen, welche der Sturmwind innerhalb der Cyclone erzeugt, müssen wir die meilenbreite Cyclonenwelle unterscheiden, welche wegen der Verminderung des Luftdruckes über der ganzen vom Wirbelsturm bedeckten Meeresfläche sich erhebt. Für jeden Zoll, um welchen das Barometer fällt, steigt das Wasser an der betreffenden Stelle um etwas mehr als einen Fuss; selten mag deshalb auf offenem Ocean die Höhe der eigentlichen Cyclonenwelle mehr als 2 Fuss betragen. Aber bei ihrer Breite von mehreren hundert Seemeilen enthält sie dennoch eine ungeheure Wassermasse; und wenn das Orkancentrum in eine allmälig sich verengende Bucht eintritt, so kann sie daselbst eine verheerende Sturmfluth von vielen Fussen Höhe erzeugen. Reid und Piddington haben Beispiele von derartigen Ueberschwemmungen gesammelt, von denen wir einige wiedergeben. In Ostindien ist Coringa an der Coromandelküste von solchen Cyclonenwellen wiederholt heimgesucht worden. So sahen im December 1789 bei hohem Wasserstande und während eines wüthenden Sturmes die unglücklichen Einwohner drei ungeheure Wellen aus der See hereinbrechen. „Die erste schwemmte Alles vor sich her und brachte mehrere Fuss Wasser in die Stadt; die zweite vergrösserte diese Verwüstungen, indem sie alles niedrige Land überschwemmte, und die dritte überwältigte Alles.“ Die Stadt und 20000 ihrer Einwohner verschwanden; verankerte Schiffe wurden in die Ebenen hineingetragen. Als die See sich zurückzog, liess sie Haufen von Sand und Schlamm zurück, welche das Suchen nach Eigenthum und Leichen unmöglich machten. — Im Juni 1822 wurden Burisal und Backergunge an den Gangesmündungen überschwemmt, und 50000 Menschen kamen in der allmälig ansteigenden Sturmfluth ums Leben. Piddington schreibt das starke Steigen des Wassers theilweise dem sehr langsamen Vorrücken der Cyclone (von zwei Seemeilen per Stunde) zu. — Am 21. October 1833 wurden durch eine schreckliche Welle dreihundert Dörfer mit

*) Horsbourgh schätzt bei einem Passatwinde die Geschwindigkeit der Wellen auf 20 Engl. Meilen pr. St.; Thomson's Messungen ergaben sogar $29^1/_2$ Seemeilen pr. St. (Gehler's physikalisches Wörterbuch VI p. 1746, Art. „Meer.“) Bekanntlich ist die Geschwindigkeit kleiner Wellen geringer als diejenige grosser Wellen.

10000 Einwohnern an der Mündung des Hooghly in Ostindien weggeschwemmt; das Wasser stieg 12 Fuss höher als die gewöhnliche Fluth. Am 21. Mai 1833 wurden in derselben Gegend mehr als 600 Indische Dörfer zerstört, indem die Fluth mit drei grossen Wogen, von denen die letzte etwa 9 Fuss höher war als die höchsten Deiche, hereinbrach; dabei ertranken 50000 Menschen, das Barometer fiel um 2 Zoll. — Auch in Westindien kommen solche Sturmfluthen vor; so stieg die See in St. Vincent während des Orkanes vom August 1831 um 12 Fuss, und während des Orkans von 1839 stieg sie an der Lehseite der Bermudas-Inseln innerhalb eines Pfahlwerkes um mehr als zwei Fuss, auch ebbte es daselbst nicht wie gewöhnlich.

Ueber die Jahreszeiten, in denen die Orkane vorzugsweise eintreten, giebt uns die folgende Tabelle Auskunft.

Ort und Beobachtungsjahre.	Autorität.	Anzahl der Orkane im Monate												Gesammtzahl der Orkane.
		Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.	Juni.	Juli.	August.	September.	October.	November.	December.	
Westindien u. nördlicher Atlantischer Ocean, 1493—1855	Poey, Chronological table	5	7	11	6	5	10	42	96	80	69	17	7	355
Nördlicher Indischer Ocean	Dove, Gesetz der Stürme	1	2	4	9	14	6	3	5	11	17	11	5	88
Chinesisches Meer, 1780—1845	Piddington, Horn Book	—	—	—	—	—	2	5	5	18	10	6	—	46
Südlicher Indischer Ocean, 1809—1848	Piddington, Horn Book	9	13	10	8	4	—	—	—	1	1	4	3	53
Mauritius, 1820 bis 1844	Labutte, Trans. Roy. Soc. of Mauritius, 1849	9	15	15	8	—	—	—	—	—	—	—	6	53

Auf beiden Erdhälften sind hiernach die Wirbelstürme am Häufigsten in den heissen Monaten. In die Monate Juni bis November fallen die sämmtlichen 46 Chinesischen Teifuns unserer Tabelle und nicht weniger als 314 von im Ganzen 355 Atlantischen Orkanen; dagegen fallen sämmtliche 53 Mauritius-Cyclonen und 47 von den 53 Wirbelstürmen des südlichen Indischen Oceans in die Monate December bis Mai, d. h. in die heisse Jahreszeit der südlichen Hemisphäre. Im nördlichen Indischen Ocean fielen 53 von 88 Cyclonen auf die Monate Juni bis November; doch treten daselbst, wie Dove hervorhebt, zwei Maxima der Häufigkeit ein in den Wendemonaten des Monsoons. In unserer Nordsee werden die Stürme vom September bis November am meisten gefürchtet.

Fünfter Abschnitt.

Mechanische Wirkungen der Wirbelstürme.

Wir haben im vorhergehenden Abschnitt die Bewegungsgesetze der Cyclonen und die wichtigsten der sie begleitenden Erscheinungen, soweit dieselben bis jetzt durch sorgfältige Beobachtung ermittelt worden sind, gewissenhaft zusammengestellt. Manchen kleinen und manchen bedeutsamen Zug haben wir diesem Gesammtbilde noch hinzuzufügen; vor Allem aber müssen wir die Orkane noch von einer bisher kaum berührten Seite schildern, indem wir ihre verderbliche Gewalt, ihre ungeheuren mechanischen Wirkungen besprechen. Zu diesem Ende wollen wir zunächst von besonders heftigen Wirbelstürmen einige Berichte folgen lassen, wobei wir namentlich Reid's reichhaltiges Hauptwerk [36a]) benutzen. Dem aufmerksamen Leser werden dieselben nicht blosse interessante Erzählungen merkwürdiger Begebenheiten sein, sondern er wird in ihnen zugleich vielfache Bestätigungen der in den Orkanen herrschenden Gesetze finden.

Unmittelbar nach dem Orkan vom 10. und 11. August 1831 auf Barbados wurde von einem Augenzeugen eine Beschreibung desselben verfasst, die wir in Dove's Uebersetzung [34b]) hier folgen lassen:

„Um 7 Uhr Abends war der Himmel heiter und die Luft ruhig; diese Ruhe dauerte bis etwas nach 9 Uhr, wo der Wind aus Norden zu wehen anfing. Um halb 11 Uhr sah man ferne Blitze in NNO. und NW. — Windstösse und Regenschauer von NNO., getrennt durch Windstillen, folgten dann bis Mitternacht, das Thermometer fiel während derselben auf 83° F. und stieg während der Windstillen auf 86°. Nach Mitternacht wurde das

ununterbrochene Flammen der Blitze schrecklich und grossartig, und der Sturm brauste wüthend von N. und NO. her. Aber um 1 Uhr am 11ten wuchs die rasende Wuth des Windes, der Orkan wandte sich plötzlich von NO. nach NW. und den dazwischen liegenden Strichen des Compas. Die oberen Regionen der Atmosphäre waren während dessen von ununterbrochenen Blitzen erleuchtet; aber diese lebhaften Blitze wurden an Glanz von den Strahlen electrischen Feuers, welche nach allen Richtungen hin explodirten, übertroffen. Etwas nach 2 Uhr ward das Heulen des Orkans, der von NNW. und NW. hereinbrach, so, dass keine Sprache es zu beschreiben vermag. Lieut.-Colonel Nickle, Befehlshaber des 36. Regiments, hatte unter einem Fensterbogen des unteren Stockwerks nach der Strasse hin Schutz gesucht, und hörte wegen des Sturmes nicht das Einstürzen des Daches und oberen Stockwerks. Um 3 Uhr nahm der Wind ab, aber wüthende Stösse kamen abwechselnd aus SW., W. und WNW."

„Einige Augenblicke hörten auch die Blitze auf, und die Dunkelheit, welche nun die Stadt einhüllte, war unbeschreiblich schrecklich. Feurige Meteore fielen nun vom Himmel, eins besonders von Kugelform und tiefrother Farbe, senkrecht aus einer bedeutenden Höhe. Diese Feuerkugel fiel ganz entschieden durch ihre eigene Schwere, nicht getrieben durch eine äussere Kraft. Als sie mit beschleunigter Geschwindigkeit sich der Erde näherte, wurde sie blendend weiss und von länglicher Gestalt. Als sie in Beckwirth-Square den Boden berührte, spritzte sie rings umher wie schmelzendes Metall und verlöschte augenblicklich. Ihre Gestalt und Grösse war die einer Lampenglocke, und das Herumspritzen bei dem Aufstossen gab ihr das Ansehen einer Quecksilberkugel gleicher Grösse. Einige Minuten nach dieser Erscheinung sank das dumpfe Geräusch des Windes zu einem majestätischen Gemurmel herab, und die Blitze, welche seit Mitternacht im Zickzack geleuchtet hatten, erschienen nun eine halbe Stunde lang mit neuer und erstaunlicher Thätigkeit zwischen den Wolken und der Erde. Die grosse Dunstmasse schien die Häuser zu berühren und sendete Flammen niederwärts, die schnell wieder aufwärts von der Erde zurückschlugen."

„Augenblicklich nachher brach der Orkan von Westen wieder herein mit unbeschreiblicher Gewalt, tausend Trümmer als Wurfgeschosse vor sich hertreibend. Die festesten Gebäude erbebten in ihren Grundmauern, ja die Erde selbst zitterte, als der Zer-

störer über sie hinwegschritt. Kein Donner war zu hören, denn das grässliche Geheul des Windes, das Brausen des Oceans, dessen mächtige Wellen Alles zu zerstören drohten, was die anderen Elemente etwa verschonen möchten, das Gerassel der Ziegeln, das Zusammenstürzen der Dächer und Mauern, und die Vereinigung von tausend andern Tönen, bildete ein Entsetzen erregendes Geräusch. Wer fern war von dieser Schreckensscene kann keine Vorstellung haben von den Empfindungen, die sie erregte.“

„Nach fünf Uhr liess der Sturm einige Augenblicke nach, und da hörte man deutlich das Fallen der Ziegeln und Bausteine, welche durch den letzten Windstoss wahrscheinlich bis zu bedeutenden Höhen waren fortgerissen worden. Um 6 Uhr war der Wind S., um 7 Uhr SO., um 9 Uhr schönes Wetter.“

„Sobald die Dämmerung die Gegenstände sichtbar machte, ging der Berichterstatter auf den Kai. Der Regen schlug so heftig herab, dass er die Haut verletzte, und so dicht, dass man nur bis zur Spitze des Dammes sehen konnte. Der Anblick war über alle Beschreibung erhaben. Die Wogen rollten so gigantisch herbei, als böten sie jeder Zerstörung Trotz; sowie sie aber am Kai sich brachen, verloren sie sich unter den Trümmern jeglicher Art. Balken, Schiffstaue, Tonnen, Kaufmannsgüter bildeten eine zusammenhängende, undulirende Masse. Nur zwei Schiffe waren aufrecht, viele umgekehrt, oder lagen auf der Lehseite in seichtem Wasser.“

„Vom Thurme der Kathedrale zeigte sich ein Bild allgemeiner Zerstörung; der Anblick der Gegend war der einer Wüste, nirgends eine Spur von Vegetation, einige Flecken welken Grüns ausgenommen. Der Boden sah aus, als wenn Feuer durch das Land gegangen wäre, welches Alles versengt und verbrannt hätte. Einige wenige stehen gebliebene Bäume, ihrer Blätter und Zweige beraubt, gewährten einen kalten, winterlichen Anblick, und die zahlreichen Landsitze in der Umgebung von Bridgetown, früher von dichten Gebüschen umschattet, lagen nun frei in Trümmern. Aus der Richtung, in welcher die Cocosnussbäume umgestürzt lagen, erkannte man, dass die ersten durch einen NNO., die grössere Anzahl durch einen NW. entwurzelt worden waren.“

Dove fügt diesem Berichte hinzu, dass, als der Sturm am heftigsten wüthete, einem Neger im Garten von Coddrington-College electrische Funken heraussprangen: so gross war die electrische Spannung der Atmosphäre. Reid nimmt deshalb an,

dass der Grund, weshalb auf St. Vincent ein grosser Theil der Waldbäume ausging, ohne umgeweht zu sein, vielleicht in diesem Uebermasse frei werdender Electricität zu suchen sei. Bemerkenswerth war ferner dieser Sturm gleich mehreren anderen durch salzigen Regen. Nämlich an der Nordspitze von Barbados brachen sich die Wogen fortwährend über eine Klippe von mehr als 70 Fuss Höhe. Dieses Meerwasser wurde vom Winde meilenweit in's Land geführt, so dass in den Weihern des Major Leacock alle Süsswasserfische starben, und in Bright Hall, 2 Meilen SSO. von jener Spitze, das Wasser noch mehrere Tage nach dem Sturme salzig schmeckte. — Auf unserer Karte II ist dieser Barbados-Orkan vom 10. bis 17. August 1831 mit II bezeichnet.

Während bei dieser Cyclone von Barbados und bei manchen anderen eine ungemeine Menge von Electricität sich entwickelte, scheint dieselbe bei den meisten Wirbelstürmen auf offener See nur in Form gewöhnlicher Blitze sich zu zeigen. Die Seeleute notiren solche Blitze oft nur, wenn sie auffallend stark sind, und der Donner ist ohnehin im heftigsten Theile einer Cyclone schwerlich hörbar. Thom bemerkt, dass in Mauritius während der Orkane Donner und Blitz so selten seien, dass Manche ihr Vorhandensein gänzlich läugnen; doch treten gemeiniglich an der Aequator-Seite der dortigen Orkane electrische Erscheinungen auf. Auch bei den Cyclonen der Bai von Bengalen und der Chinesischen Meere geschieht, wie Piddington hervorhebt, des Blitzes und Donners selten Erwähnung; bei der äusserst heftigen Cyclone vom Juni 1842, deren Centrum über Calcutta hinwegschritt, war selbst während der Nacht Nichts von Blitz und Donner zu bemerken. Bei der Bengalischen Cyclone vom 12. — 14. Oct. 1848 waren in der vorderen Hälfte Donner und Blitz „nicht der Rede werth“; aber in der hinteren gab es schwere electrische Entladungen. Dagegen herrschte in der Mauritius-Cyclone von 1786 Donner und Blitz „beinahe unaufhörlich überall in diesem schrecklichen Sturme“, auch zeigte sich eine Feuerkugel von der halben Grösse des Mondes. In Santa Cruz wurden während des grossen Westindischen Orkanes von 1772 ähnliche Feuerkugeln wahrgenommen, welche allein die „zehnfache Dunkelheit“ unterbrachen. Bei der Antigua-Cyclone von 1848 heisst es: „um Mitternacht tobte der Wind rasend; Blitz und Donner, von Fluthen Regens begleitet, hörten nicht auf“; und bei der Tobago-Cyclone vom 11. Oct. 1847 „war das Blitzen äusserst lebhaft und furchtbar in seinem Glanze.“

Alle Autoritäten über die Wirbelstürme. mit Ausnahme vielleicht von Piddington. halten die Electricität für ein Erzeugniss der Orkane und nicht für die Ursache derselben. Selbst Piddington äussert jedoch. es sei kein Zweifel. dass während der Cyclonen eine immense electrische Wirkung in der Atmosphäre eintreten müsse; denn es sei ja bekannt. dass jeder Zustandswechsel aller Naturkörper. wie die Verdampfung des Wassers oder die Verdichtung des atmosphärischen Wasserdampfes zu Regen. dieselbe hervorrufe. Deshalb müsse. während erstaunliche Regenströme in diesen grossen Cyclonen tagelang über Hunderten von Quadratmeilen niederstürzen. eine sehr grosse Menge Electricität erzeugt werden; aber es sei möglich. dass dieselbe ebenso schnell, wie sie sich bilde, durch den Regen selbst zur Erde geleitet werde. Die sogenannten St. Elms-Feuer. welche in stürmischem Wetter stundenlang auf den Raaen und Mastenspitzen von Schiffen verweilen, seien Beispiele einer andauernden electrischen Wirksamkeit zwischen dem Meere und der Atmosphäre, wobei das Schiff den Conductor bilde. —

Verschiedene interessante Berichte besitzen wir über die Verwüstungen. welche der Antigua-Orkan im Anfange des Augustmonats 1837 verursachte. Das Centrum dieses Orkanes kam in etwa 17 Grad N. Br. aus dem Atlantischen Ocean nach Westindien, passirte Antigua und das Nordende von Porto-Rico ähnlich wie III, XXI und VI auf unserer Karte II, streifte dann die Bahama-Inseln in NW. lichem Laufe, als wollte es wie gewöhnlich nach N. und NO. umbiegen, wandte sich aber zwischen 30 und 31 Grad N. Br. und 79 und 80 Grad W. L. wieder nach WNW., wie der letzte, in Karte II verzeichnete Theil der Bahn es zeigt. Von St. Thomas erzählt das Tagebuch des Englischen Packetschiffes Spey: „Hier schien der Orkan vom 2. August alle seine Kraft, Gewalt und Wuth concentrirt zu haben; denn Hafen und Stadt bildeten eine Scene, die aller Beschreibung spottet. Dreiundsechzig Schiffe und Fahrzeuge gänzlich wrack rings um den Hafen, von denen etwa ein Dutzend an ihren Ankern gesunken oder gekentert waren! Einige ritten den Sturm aus, indem sie ihre Masten kappten; mehr als hundert Seeleute ertranken. Der Hafen ist so mit Wracks und gesunkenen Fahrzeugen verstopft, dass es schwierig ist für ein Schiff, einen Ankerplatz heraus zu eisen. Die zerstörenden Kräfte dieses Orkanes werden nie vergessen werden. Einige Häuser waren regelrecht umgedreht, das Unterste zu oberst.

Ein grosses gutgebautes Haus war durch die Stärke des Windes von seinen Fundamenten weggerissen, und steht jetzt aufrecht mitten in der Strasse. Das Fort am Eingang des Hafens ist bis auf's Fundament geschleift und die 24-Pfünder sind heruntergeschleudert: es sieht aus, als wäre es mit Kanonen in Stücke geschossen ... Ein schönes Americanisches Schiff von 500 Tonnen war unter der Citadelle an's Ufer getrieben, und in einer Stunde waren nur noch wenige Spieren von ihm zu sehen."

Während dieses Orkanes fiel und stieg in St. Thomas das Barometer um $1^3/_4$ Zoll; nur zwei von den anwesenden Schiffen kamen mit blosser Haverie davon. Der Capitain Newby des einen, nämlich der Engl. Brig Water-Witch, schreibt darüber: „Um 5 Uhr Nachmittags hörten die Böen auf und ein schwerer Sturm begann vom Lande her. Um 7 Uhr ein Orkan (aus N. und NW.), über alle Beschreibung fürchterlich! Das Spill fiel um, und ich konnte meine Kabel nicht laufen lassen, indess das Schiff bis zu 25 Faden Wasser forttrieb. Dann folgte etwa 10 Minuten lang eine Windstille, und hierauf fing es mit dem fürchterlichsten, unirdischen Kreisch, den ich je hörte, von Neuem aus Süden und Südwesten an. Jetzt glaubte ich, mit uns sei Alles zu Ende; denn der Wind stand gerade auf's Land, und die See ging Berge hoch. Die Vorbramstenge und das Gig wurden einige Fuss in die Luft empor getragen, und das Schiff trieb wieder in 12 Faden Wasser. Wir mussten es die ganze Nacht steuern und sein Vordertheil am Winde halten; denn wenn es dem Winde seinen Bug zukehrte, so ging es auf der Breitseite nieder. Um zwei Uhr früh legte sich der Wind etwas, und das Barometer stieg einen Zoll."

In Portorico trat der tiefste Barometerstand $4^1/_2$ Stunden später ein als in St. Thomas; 33 Fahrzeuge lagen daselbst vor Anker, und sie alle gingen verloren. In St. Bartholomeo wurden am 2. August 150 Gebäude zerstört. — Von demselben Orkan wurde am 4. August auf Crooked Island alle Vegetation total vernichtet. Ströme Regens fielen die ganze Zeit, das Tiefland überschwemmend, und auch hier war der Regen salzig.

Die erste Nachricht von diesem Antigua-Orkane verdanken wir dem Capitain Seymour vom Schiffe Judith and Esther. Da nach Seymour's ausdrücklicher Angabe „kein Wogengang (swell) dem Sturme vorherging", so befand sich das Schiff möglicher Weise in der Gegend, wo der Orkan zuerst sich bildete, und der folgende Bericht von Seymour gewinnt dadurch an Interesse. „Am

31. Juli, 8 Uhr Abends, während der Wind frisch aus NO. blies und alle möglichen Segel aufgesetzt waren, bemerkte ich in 17° 19′ N. Br. und 52° 10′ W. L. eine weisse Erscheinung von runder Form, nahezu vertikal, und während ich unverwandt dahin blickte, trug ein plötzlicher Windstoss (aus NO.) die Marsstange und die unteren Lehsegel fort.*) Um 8½ Abends wurde die Atmosphäre sehr bewölkt, und wir zogen bei wachsendem Winde unsere kleinen Segel ein und nahmen ein Reff in die Marssegel; wir bemerkten zu dieser Zeit keine Dünung, ausser was von einer solchen Briese sich erhoben hätte. Der Wind blieb sodann fest von NO. her und nahm nicht zu bis um 1 Uhr am folgenden Morgen (1. Aug.); dann aber wurde er stärker und die See erhob sich sehr schnell, so dass das Schiff hart arbeiten musste. Um 6½ Uhr Morgens wurde das Marssegel dicht gerefft, die Fock gerefft und beschlagen und das grosse Segel dicht gerefft, die Bram-Raaen heruntergenommen und die grosse Bramstenge gestrichen. Die See ging zu dieser Zeit sehr hoch und regelmässig aus NO. Um 7 Uhr nahm der Wind allmälig zu; wir nahmen das grosse und das Marssegel ein und liessen das Schiff unter blossen Masten lenssen, da Alle der Meinung waren, es würde das Lenssen besser aushalten als das Beiliegen. Die See ging sehr hoch, das Schiff arbeitete stark und schöpfte grosse Mengen Wasser; auf die Pumpen hatten wir besonders Acht. Etwa um 8 Uhr Morgens sehr schwerer Regen; der Wind wuchs zu einem Orkan, so dass es unmöglich war, einander auf Deck sprechen zu hören oder noch etwas für unsere Sicherheit zu thun. Das Schiff drehte bei und wurde durch eine fürchterlich schwere See auf die Backbord-Seite geworfen; als es sich nach einiger Zeit wieder aufrichtete, war an der Backbord-Seite fast die ganze Schanzkleidung weggerissen. Während es sich erhob, drehte sich der Wind plötzlich nach O. zu S. . . .“ Zum zweiten Male auf die Seite gelegt, verliert das Schiff auch die Steuerbord-Schanzkleidung, worauf es aber wieder 15 Minuten lang lenkbar wird. Gleich darauf „trat auf etwa 15 Minuten Windstille ein, und der Orkan drehte sich plötzlich nahezu nach Süden, worauf wir alle Hoffnungen auf Rettung aufgaben.“ Dann zum dritten Male auf der Seite: der Steuermann

*) Sollte diese „white appearance of a round form, nearly vertical“ nicht eine Wasserhose gewesen sein, die wegen nächtlicher Dunkelheit schwer zu erkennen war?

mit dem Steuerrad und Alles, was Werth hatte, wurde fortgeschwemmt. „Jedes Segel, ausser dem grossen, war in Fetzen davongeweht, obwohl gehörig beschlagen ... Nahezu eine Stunde lang konnten wir weder einander noch irgend etwas ausser dem blossen Lichte wahrnehmen; und wunderbar! alle unsere Fingernägel wurden ganz schwarz und blieben so beinahe fünf Wochen lang. Als das Schiff sich aufgerichtet hatte, sahen wir die Wolken, welche von Anbeginn des Sturmes unter heftigem Regen eine einzige Masse gebildet hatten, sich theilen; auch der Wind legte sich ein wenig. Die See ging indessen fürchterlich hoch; wir machten uns wieder an die Pumpen und hielten sie in Gang.“ Etwa um drei Uhr Nachmittags begann der Sturm nachzulassen und die See brach nicht mehr so wüthend ein. Um sechs Uhr beruhigten sich Wind und Wellen immer mehr. „Der Himmel sah zu dieser Zeit sehr merkwürdig aus; er war tiefroth gefärbt im Norden und sehr schwarz nach Westen zu, als ob der Sturm sich nach jener Richtung bewege.“ — Leider war das Barometer der Judith and Esther zerbrochen, aber auf der Englischen Bark Laidmans war es in derselben Länge und Breite sehr unbeständig. —

Sehr merkwürdige Erscheinungen begleiteten den Sturm vom 25. Juli 1825 auf Guadaloupe, von welchem Gay-Lussac[46]) nach genauen amtlichen Berichten eine kurze Beschreibung giebt. Viele gut und fest gebaute Häuser wurden umgestürzt und Dachziegel mit solcher Gewalt fortgeschleudert, dass mehrere derselben durch dicke Thüren in die Magazine einbrachen. Ein tannenes Brett, 1 Meter lang, $2^1/_2$ Decimeter breit und 23 Millimeter dick, wurde mit solcher Wucht gegen einen 45 Centimenter dicken Palmbaumstamm geschleudert, dass es durch denselben hindurchging, und ein anderes Stück Holz von 20 Centimeter im Quadrat und 4 bis 5 Meter lang wurde in einen gestampften und frequentirten Schienenweg nahezu einen Meter tief vom Winde hineingetrieben. Ein schönes Eisengitter vor der Wohnung des Commandanten wurde gänzlich zerbrochen und sogar drei 24pfündige Kanonen wurden bis an die Brustwehr des Walles fortgeschoben. Am Auffallendsten aber ist die auf sicheren Zeugnissen beruhende Angabe, dass der Wind leuchtend schien, und eine silberne Flamme, welche durch die Risse der Mauern und die Oeffnungen der Schlösser drang, den Schein gab, als stände der Himmel in Feuer.

Selbst in Europäischen Stürmen verursacht der Wind manchmal ganz erstaunliche Wirkungen. Muncke[47]) berichtet über den Orkan vom 30. Sept. 1807, welchem, wie manchen anderen, eine ungewöhnliche Wärme voranging und der nach Bildung dichter Wolken um 1 Uhr Nachts über Wien von Westen her losbrach, Folgendes: „Derselbe erschütterte die festesten Häuser und machte sie schwanken, und stürzte ausserdem Tausende von Dachziegeln auf die Strassen herab. Die Kuppel des Augustiner Kirchthurmes war herabgeworfen und dem Anschein nach in der Luft herumgedreht. Ein eisernes Zifferblatt am Michaelisthurme war wie ein Stück Papier aufgerollt, Tausende von Schornsteinen und Feuermauern waren eingestürzt, viele Dächer abgehoben, zahllose Fenster eingedrückt, die Gärten verwüstet, die stärksten Bäume abgebrochen oder ausgerissen, namentlich im Prater in solcher Menge, dass die Holzhändler sie für 25,000 Gulden kauften. Derselbe Sturm verschob zu Zell am Hammersbach in Baden ein neues Haus, und warf das von Hamburg abgegangene Postschiff nahe bei Harburg um, so dass von 70 Menschen 30 umkamen.“ Der Orkan vom 9. Nov. 1800, welchen Muncke selbst nebst der „ihm vorausgehenden unnatürlichen Wärme“ in Hannover beobachtete, zerbrach daselbst die stärksten Lindenbäume, riss auf dem Harze 200,000 Tannen aus, bedeckte die Flandrische Küste zwischen Ostende und Dünkirchen mit Trümmern und Leichen, tödtete in Gravelines durch Umsturz des Kirchthurmes viele Menschen und brachte auch auf dem Main mehrere Schiffe zum Sinken. Muncke hebt hervor, dass unseren Nordseestürmen meistens Windstille und ungewöhnlich warme, feuchte Luft vorhergeht und dass sie vorzugsweise dem Monate November angehören. So der Sturm vom 26. Nov. 1282, welcher den See Flivo mit dem Meere vereinigte und die Zuidersee bildete, derjenige vom 19. Nov. 1421, welcher 72 Dörfer verheerte und gegen 100000 Menschen des Lebens beraubte, der vom 5. Nov. 1430, welcher Hollands Deiche zerstörte, und derjenige vom 22. Nov. 1686, durch welchen 25 Dörfer mit mehr als 10000 Menschen vom Meere bedeckt wurden.

Ein unzweifelhafter Wirbelsturm war der von Berthelot[48]) beschriebene, welcher am 6. und 7. November 1825 die Insel Teneriffa heimsuchte. Denn das Barometer fiel an einem 585 Meter hoch gelegenen Orte von 28″.53 Engl. auf 27″.87 und stieg mit dem Aufhören des Orkanes wieder auf 28″.42; zugleich drehte sich der Wind von O. über NO. nach N. und NW., so dass

das Centrum der Cyclone wahrscheinlich im SO. die Insel passirte und dieselbe von der linken Sturmhälfte überstrichen wurde. Die Luft war vor Ausbruch des Orkanes erstickend, durchscheinend und helltönend; gegen Mittag häuften sich dichte Wolkenmassen rings am Horizont, die rasch zum Zenith aufzusteigen schienen; am Ufer blies der Wind schon Morgens heftig. Bald erhub sich aus O. einer der wüthendsten Stürme mit Strömen von Regen, und die Wogen erschütterten den Molo von Sainte-Croix bis auf die Fundamente. Gegen 3 Uhr rissen zwei grosse Schiffe sich von ihren Tauen los und wurden an den Strand geworfen, und um 9 Uhr Abends konnte man vor der verdoppelten Wuth des Orkanes sich kaum auf dem Kai halten. Ein Americanischer Dreimaster wurde gegen den Molo geworfen und verschwand sogleich in Trümmern; nur zwei seiner Matrosen, die sich im Tauwerk festgeklammert hatten, wurden gerettet, indem sie mit dem Maste auf den Molo stürzten. Die stärksten Bäume wurden ausgerissen, ja ganze Wälder niedergelegt. Die grössten Verwüstungen aber richteten die entsetzlichen Regengüsse an, welche bis zum folgenden Tage anhielten. „Tromben Wassers stürzten sich auf die vorragenden Berggipfel, wühlten den Boden auf, lösten die Felsen, rasirten die Gehölze und rollten diese mitgerissenen Massen in die Krümmungen der Schluchten. Mit den ausgetretenen Giessbächen an der Küste anlangend, untergrub dieser eisgangartige Strom die Forts am Ausgang der Thäler und zerstörte sie von Grund aus. Auf diese Weise wurde an der Bai von Ste. Croix eine grosse Bastion mit ihren Geschützen fortgerissen, und verschwanden spurlos das feste Schloss von Candelaria und eines von denen, welche den Hafen von Orotava vertheidigten.“ Im Ganzen kamen in diesen Fluthen 232 Menschen und 936 Stück Vieh um; 307 Häuser wurden ganz mitgerissen und 114 andere zerstört. Blitze scheinen diese Regengüsse nicht begleitet zu haben, wohl aber eine nordlichtartige Erscheinung, deren Strahlen bald von dieser, bald von jener Stelle ausgingen, und Feuerkugeln, die auf den Wellen zu schaukeln schienen und an den Bergen sich zeigten.

Im südlichen Indischen Ocean ist namentlich die Insel Mauritius den Wirbelstürmen ausgesetzt[47]), weit mehr als die Inseln Bourbon, Rodriguez und andere nahe unter dem Aequator liegende. Sie wehen daselbst zur Regenzeit, die vom December bis April dauert, und dann sind selbst die im Hafen zu Port Louis vor

mehreren Ankern liegenden Schiffe nicht sicher. Meistens kündigen sie sich durch bedeutendes Anschwellen der See, durch Geschrei und unruhiges Verhalten der Seevögel, durch dichte, oft kupferfarbige Wolken auf den Bergen, durch plötzlich wechselnde Windstille und eine schwer zu beschreibende Unruhe am Horizonte an; vor Allem giebt das Barometer sichere Zeichen, indem es schnell und stark sinkt. Der Sturm beginnt mit Stössen, die regellos mit gänzlicher Windstille wechseln, heftiger und häufiger werden, bis das Toben der See und Heulen des Windes den höchsten Grad erreicht, der in kurzen Pausen unterbrochene Sturm aber durch die ganze Windrose läuft und nach etwa zwanzig Stunden ein schrecklicher Regen das Ende macht. Schiffe können durch Anker und Taue nicht widerstehen, denn der Sturm zerreisst auch die stärksten und zerbricht die Masten wie Reiser. Auf der Insel selbst sind die Verheerungen gleich stark wie an den Küsten, indem Häuser und Pflanzungen gewaltsam weggerissen werden. Einst hielt sich ein Mann lange Zeit an einem Baumstamme; als er diesen aber verlassen hatte und weiter zu kommen hoffte, wurde er 200 Schritt weit fortgetrieben, und hatte Mühe, sich niederzuwerfen, um nicht in einem etwas entfernteren Flusse umzukommen. Auf einem 1200 Fuss hohen Berge unweit der Stadt war ein Haus mit einem Signalposten, welches in einem solchen Sturme verschwand, ohne dass von Menschen und Sachen eine Spur übrig blieb, weil ohne Zweifel Alles in's Meer geschleudert war. Die Verheerungen des Sturmes vermehren die des Regens.

So schildert Muncke nach James Prior's Reisebeschreibung die Mauritius-Orkane, von denen derjenige vom 28. Februar und 1. März 1818 besonders bekannt geworden ist. Das Barometer fiel von 7 Uhr Morgens des erstgenannten Tages bis um 6 Uhr Morgens am 1. März von 759 auf 715 Millimeter; die Schrecknisse der Katastrophe wurden noch durch die Dunkelheit der Nacht vermehrt. Vierzig vor Anker liegende Schiffe wurden losgerissen und scheiterten an der Küste oder wurden stark beschädigt; zum Glück aber traf der Wind während seiner grössten Heftigkeit den Hafen nicht, sonst wären alle dortigen Schiffe mit ihren ganzen Mannschaften untergegangen. Auf der Insel selbst kamen viele Menschen, sowohl freie als Sklaven um, und die Ernten wurden gänzlich zerstört. Auf der Batterie, welche nahe am grossen Flusse liegt, wurden zwei Kanonen von schwerem

Kaliber, auf Seelafetten montirt, nach der entgegengesetzten Richtung herumgedreht. Ein stark gebautes massives Haus, nur ein Stockwerk hoch, welches allen Stürmen seit 1768 widerstanden hatte, wurde durch diesen Sturm eingestürzt, und die Mitglieder der darin wohnenden Familie kamen um oder wurden schrecklich verstümmelt. In dem Französischen Berichte [36a, 42] heisst es u. A.: „Das Theater ist ein sehr grosses Gebäude. Seine Form ist die eines T, dessen oberer Theil einen bedeutenden Vorderbau darstellt, weil der hintere Theil, der den Stiel des T bildet, allein 53 Fuss Breite und 82 Fuss Länge hat. Wäre dieses Gebäude durch den Sturm zertrümmert worden, so hätte man das seiner Constructionsart zuschreiben können; aber, was kaum glaublich ist, dieser immense Hinterbau von 34 Fuss Höhe und überdeckt von einer Menge Gebälk, ausserdem mit dem Vorderbau verbunden, ist nahezu fünf Fuss auf seiner Grundmauer fortgeschoben."

Wegen ihrer Heftigkeit besonders verrufen sind die Chinesischen Teifuns. Schon Dampier erklärt dieselben für „eine Art von heftigen Wirbelwinden, welche in den Monaten Juli, August und September an der Küste Tongking herrschen", er hält sie für identisch mit den Westindischen Orkanen, wie namentlich aus seiner hier folgenden Beschreibung [34b]) von einem Sturme, den Capitain Gadbury im August 1681 bei Antego durchmachte, hervorgeht. „Gegen 8 Uhr begann der Sturm von NO., und indem er plötzlich nach NNW. sich drehte, dauerte er von dieser Richtung mit strömendem Regen 4 Stunden. Darauf trat plötzlich eine Windstille ein und der Regen hörte auf. Nach der Windstille begann der Wind und der Regen mit derselben Stärke wie vorher aus SW. Bei dem Sturme vor der Windstille zog sich das Meer so von der Küste zurück, dass in 3 bis 4 Faden liegende Schiffe auf das Trockne geriethen, und strömte bei dem entgegengesetzten Winde so heftig zurück, dass eins der Schiffe weit in die Wälder hineingeführt wurde, ein anderes auf zwei einander nahe Felsen, so dass es 10 bis 11 Fuss höher als die höchste Fluth wie eine Brücke über ihnen lag, das Vordertheil auf dem einen, das Hintertheil auf dem anderen. So gross war die Wuth des Sturmes, dass kein Blatt, keine Spur von Grün übrig blieb, wie im tiefsten Winter, und dass ein später ankommendes Schiff kaum glauben konnte, die Insel, an der es gelandet, sei Antego (Antigua). Den Tag nach dem Sturme war die Küste mit todten Fischen bedeckt, grossen und kleinen, auch mit vielen todten Seevögeln. Einen

ganz ähnlichen Sturm habe ich in Asien erlebt; denn in der That, die Hurricanes der Antillen und die Teifuns der Chinesischen Küste sind dieselbe Erscheinung unter verschiedenen Namen. Bei dem Teifun, den ich im 15. Capitel meiner Reise beschrieb, war zuerst der Sturm aus NO., dann Windstille, dann Sturm aus SW., und während desselben erschien das Corpus Sanctum auf dem grossen Mast."

Am 27. October 1856 herrschte auf den Philippinen ein solcher Teifun; derselbe zerstörte bloss in Manilla nicht weniger als 3500 Häuser, und nach amtlichen Berichten wurden in einem Umkreise von acht Wegstunden rings um die Hauptstadt über 10000 Häuser ruinirt. Die Ernte wurde gänzlich zerstört, die Obstbäume entwurzelt oder zerbrochen, sechs fremde Schiffe auf den Strand geworfen u. s. w. Der Sturm begann gegen Mittag und hielt bis 7 Uhr Abends an.

Eine sehr schöne Schilderung des Teifuns vom 2. September 1860, in welchem an der Japanesischen Ostküste der Kriegs-Schooner Frauenlob spurlos verschwand, giebt der amtliche Bericht über die Preussische Expedition nach Ost-Asien. „Den 2. Sept. Morgens gegen vier Uhr weckte der Ruf: ‚Alle Mann auf, klar zum Manöver!' sämmtliche Bewohner der (Dampf-Corvette) Arkona aus dem Schlafe. Die See ging hoch, der Himmel war bezogen, der Wind blies heftig aus ONO. und es begann zu regnen. Schon war der Frauenlob ausser Sicht, nachdem um drei Uhr bei heftigem Seegange die Trosse zerrissen, an den er geschleppt wurde. Das Gross-Marssegel der Arkona wurde dicht gerefft, fast alle übrigen Segel eingenommen und die Feuer gelöscht, da die Schraube gegen den heftigen Wind nicht ankämpfen, die Maschine aber leicht beschädigt werden konnte. Sämmtliche Pforten wurden geschlossen, was zu bergen war geborgen, und alle Vorbereitungen getroffen, um einem grossen Sturme zu begegnen, denn der Wind gewann zusehends an Stärke. Da die Küste von Nippon lehwärts in grosser Nähe lag, so suchte der Commodor mit Hülfe der Segel zu halsen, d. h. das Schiff gegen den Wind zu drehen und über Süden nach Osten zu lenken — aber vergebens; der auf das Heck und den Kreuzmast immer stärker drückende Luftstrom wirkte den Segeln entgegen und die Arkona gehorchte nicht mehr ihrem machtlosen Steuer. Um sieben begann das Schiff sich stark auf die Seite zu legen. Noch war die Luft hell genug, um zu sehen, wie die Wogen sich Hügeln gleich

hinter einander in Reihen thürmten, vom eigenen Gipfel in milchweissem Schaume herabstürzend. Das Barometer fiel mit ungewohnter Schnelligkeit, und man wurde inne, dass der gefürchtete Teifun wirklich losgebrochen war. Um acht Uhr wurde es so dunkel, dass man das Ende des Schiffes nicht mehr sehen konnte; Meer und Wolken schienen sich zu verschlingen. Die Wogen standen Mauern gleich und der Sturm peitschte den Wasserschaum wie dichten Nadelregen durch die Luft. See- und Regenwasser ergoss sich in Strömen über das Deck und durch alle Oeffnungen in die Batterie hinunter; Wind und Wellen rauschten nicht mehr, Alles bebte und donnerte, so dass man sein eigenes Wort kaum hörte und die Commandos von Mann zu Mann weiter gegeben werden mussten. Nur mit der grössten Anstrengung und die quer über Deck gespannten Seile fassend konnten sich die Matrosen fortbewegen.

„Der Wind ging nach Osten herum, und die Segel flogen mit lautem Krachen berstend in Fetzen über Bord. Raaen und Spieren sausten von den Masten nieder, und in der Takelage schlugen die Tau-Enden den Leuten die Köpfe blutig. Mit zerrissenen Kleidern und halb besinnungslos stiegen viele von oben herab, und so gross war die Gewalt des Windes, dass einem Matrosen in den Wanten das wollene Hemd buchstäblich in Fetzen vom Leibe geblasen wurde. Eine See schlug in die zu Backbord hangenden Boote; der erste Cutter und die Jolle füllten sich mit Wasser, die Davids brachen unter der Last und beide Boote versanken.

„Die Arkona schlängerte, vom Winde lehwärts fest in die Wogen gedrückt, nur wenig, und holte selten stark nach Backbord über, obgleich die Neigung nach Steuerbord über 30 Grad betrug. Eine gewaltige Welle nach der anderen rollte donnernd unter ihr fort; das gute Schiff bäumte sich jedesmal mächtig empor und glitt dann, seinen äussersten Bord in das Wasser tauchend, ruhig in das Wogenthal hinab. Nur zweimal wälzte sich eine unbändige See, den Galion umschlingend, vom Bugspriet her über das ganze Verdeck, und stürzte brausend in die Batterie, in das Zwischendeck hinab.

„Um neun Uhr ging der Wind nach SO. herum und wurde etwas schwächer; zwischen ein viertel und halb zehn stand das Barometer am niedrigsten, das Quecksilber war in 1½ Stunden um einen Zoll gesunken. Bald darauf erhob sich der Wind, der

indess durch OSO. und SO. nach S. herumgegangen war, wieder zu seiner früheren Heftigkeit: alle Seeleute versicherten, etwas Aehnliches nie erlebt zu haben.

„Der Theorie der Cyclonen gemäss hätte man den Kurs nach NO. beibehalten müssen, um so in der Richtung, in welcher er kam, wieder herauszusegeln: aber auch hier lag das Land in grosser Nähe, und die Gefahr, zu stranden, wuchs in jedem Augenblick. Da alle am Fockmast aufgebrachten Segel wegflogen, so schickte Capitain Sundewall die Mannschaft in die Wanten hinauf, um die Luft zu fangen, aber vergebens: das Schiff konnte nicht zum Abfallen gebracht werden. Der Capitain liess nun die Maschine heizen. Schon waren die Backbordwanten arg gelockert, und die Masten drohten über Bord zu gehen, — die Mannschaft arbeitete mit unsäglicher Anstrengung und Gefahr, um sie durch Balken und Tauwerk zu sichern, — schon standen die Zimmerleute mit den Beilen bereit, um als letzte Auskunft den Kreuzmast zu kappen, — da machte gegen halb zwölf Uhr die Schraube, unter allgemeiner ängstlicher Spannung, ihre ersten Umdrehungen: das Schiff gehorchte dem Steuer und drehte sich in den Wind. — Schon gegen zwölf liess die Gewalt des Sturmes wieder nach; um drei Uhr brach die Sonne durch die Wolken, und gegen vier war das Meer ziemlich ruhig.

„Der Orkan war sehr kurz und bewegte sich von SO. nach NW. Sein Durchmesser muss sehr klein, seine Axe der Arkona um ein viertel auf zehn am nächsten gewesen sein. Der Wind blies zwischen zehn und elf schon aus SSW., später aus SW. und hatte so in wenig Stunden die halbe Windrose durchlaufen. Der niedrigste Barometerstand (um $9\frac{1}{4}$ Uhr) war 28″,96; von halb zehn fing das Barometer wieder an zu steigen, stand um halb zwölf auf 29″,75, und um 8 Uhr Abends auf 30″,14. Die grösste Differenz betrug fast 14 Linien.“

Wir schliessen diese Reihe von Berichten über besonders heftige Wirbelstürme mit der Schilderung des sogenannten „Grossen Orkanes“ von 1780 (vgl. Karte II). Dove[34b]) hat die von Reid gesammelten Berichte so übersichtlich bearbeitet, dass wir nichts Besseres thun können, als seine Darstellung mit wenigen Zusätzen wörtlich wiederzugeben. Wir besitzen über diesen Westindischen Sturm vom 10. October 1780 so detaillirte Nachrichten, weil er die Flotte des Admirals Rodney traf, welche schon durch den Orkan, der sieben Tage früher Savanna la Mar auf der Westküste von

Jamaica zerstörte, bedeutend gelitten hatte. Schon damals gingen der Scarborough, Barbados, Victor und Phönix unter, die vorher in der Montego-Bai lagen, und die Princess Royal, der Henry und Austin Hall wurden in Savanna la Mar von den Ankern gerissen, in die Moräste getrieben und so hoch auf das feste Land gehoben, dass sie hernach den überlebenden Einwohnern zur Wohnung dienten.

Die Breite des Orkans vom 10. October, der in sich alle Schrecken dieser grossartigen Naturerscheinung vereinigt zu haben scheint, war gleich anfangs so gross, dass er die äussersten Grenzen der kleinen Antillen, nämlich Trinidad und Antigua, gleichzeitig umfasste, während sein Centrum über Barbados am 10. nach St. Lucia fortrückte, wo Admiral Hotham mit dem Vengeance, Montagu, Egmont, Ajax, der Alkmene und Amazone lag. Darauf traf er an der Südküste von Martinique den Französischen Convoi, der unter der Führung der Fregatten Ceres und La Constante aus 50 Kaufmanns- und Transportschiffen mit 5000 Mann Truppen an Bord bestand. Nur sechs oder sieben Schiffe retteten sich hier: „Les batiments du convoi disparurent“, heisst es ziemlich lakonisch im Berichte des Intendanten von Martinique. Von hier ging das Centrum des Orkans über Portorico, wo der Deal Castle scheiterte, nach der Insel Mona, und traf hier am 15. Morgens den Englischen Convoi unter dem Ulysses und der Pomona, der davon hart mitgenommen wurde. Darauf rückte es nach den Silver Keys, wo der Stirling Castle unterging. An welcher Stelle der von St. Lucia nach Jamaica segelnde Thunderer, auf welchem der Commodore Walsingham seine Flagge aufgezogen hatte, verloren gegangen, ist nie ermittelt worden. Nun wendete er sich unter 26 Grad Breite nach NO., und traf hier die durch den Sāvanna la Mar-Orkan entmasteten Schiffe des Geschwaders unter Admiral Rowley, bestehend aus dem Trident, Ruby, Bristol, Hector und Grafton, die unglücklicher Weise gerade von der Westseite des Sturmes in seine Mitte hineinsteuerten. Hierauf wandte er sich nach den Bermudas, in seiner grössten Breite wohl beide Küsten des Atlantischen Oceans umfassend, und holte hier den vom ersten Sturme unbrauchbar gewordenen Berwick auf seinem Rückwege nach England ein. 50 Fahrzeuge wurden hier am 18. October auf den Strand getrieben. Von dem Zustande der Kriegsschiffe giebt eine in Reid's Werk befindliche Skizze des Egmont von einem Officier desselben ein lebhaftes Bild.

Aber nicht minder verderblich wüthete der Orkan auf den Inseln selbst. In Martinique kamen 9000 Menschen um, 1000 allein in St. Pierre, wo kein Haus stehen blieb, da das Meer 25 Fuss hoch anschwoll. 150 Häuser am Ufer in einem Augenblick zerstörte, und die hinten stehenden grossentheils eindrückte. Auch das 120jährige Fort St. Pierre wurde zerstört mit Ausnahme der Magazine. Im Fort Royal wurden die Kathedrale, 7 Kirchen und 1400 Häuser umgestürzt, und unter den Ruinen des Hospitals 1600 Kranke und Verwundete begraben, so dass nur wenige sich retteten. In Domenica wurden fast alle am Ufer stehenden Häuser weggerissen, die königliche Bäckerei, die Magazine und ein Theil der Kasernen zerstört. In St. Eustach wurden 7 Schiffe an den Felsen von North Point zerschellt, und von 19 vom Anker gerissenen Schiffen kehrte nur eins zurück. In St. Lucia, wo 6000 Menschen ihren Tod fanden, wurden die festesten Gebäude bis in ihre Fundamente verwüstet; die See schwoll so hoch an, dass sie das Fort zerstörte und die grossen Kanonen viele Yards weit von der Plattform fortriss. Der Kopf des Molo wurde fortgeschwemmt, und die Korallendecke des Meeresbodens, dieses Werk von Jahrhunderten, wurde aufgerissen und Grathe von Korallenfelsen aufgeworfen, die nachher über dem Wasser sichtbar blieben; der Hafen selbst wurde sechs Fuss, an anderen Stellen noch mehr ausgetieft. Von 600 Häusern in Kingstown auf St Vincent blieben nur 14 übrig; die anderen waren „rasirt". Die Französische Fregatte Juno scheiterte dort. „Unmöglich ist die grässliche Scene zu schildern, welche Barbados darbietet", sagt Sir George Rodney in seinem amtlichen Bericht. „Nur meine eigene Anschauung hat mich von der Möglichkeit überzeugen können, dass der Wind eine so gänzliche Zerstörung einer so blühenden Insel hervorbringen kann. Ich bin fest überzeugt, dass die Heftigkeit des Sturmes die Einwohner verhindert hat, das Erdbeben zu fühlen, welches ohne Zweifel den Sturm begleitet hat; denn nur ein Erdbeben vermag die massivesten Gebäude bis in ihre Grundvesten zu zerstören. So vollständig ist die Verwüstung, dass keine Kirche, kein Haus ihr entgangen ist."

In Barbados war noch der Abend des 9. October merkwürdig ruhig, aber der Himmel erstaunlich roth und feurig. Während der Nacht fiel reichlicher Regen, auch am Morgen des 10. viel Regen mit Wind aus NW. Um 10 Uhr Morgens nahm das Unwetter sehr zu und schon um 1 Uhr Nachmittags kamen die

Schiffe in der Bai in's Treiben. Um 4 gingen alle Schiffe in See; um 6 hatte der Wind schon viele Bäume ausgerissen und niedergeweht. Im Gouverneurs-Hause wurden Thüren und Fenster verbarricadirt, ohne sonderlichen Erfolg; denn um 10 Uhr Abends brach der Wind aus NNW. durch's Haus. Die Familie flüchtet in die, durch drei Fuss dicke Mauern geschützte Mitte des Gebäudes unter wachsendem Sturme; um $11^1/_2$ treibt der Wind, der überallhin sich Bahn gebrochen und das Dach grösstentheils abgerissen hat, sie in den Keller. Bald verjagt sie auch hier das um 4 Fuss gestiegene Wasser. Ueberall stürzen Trümmer auf sie herab. Der Gouverneur sucht unter den Kanonen Zuflucht: eine traurige Situation, da viele Kanonen sich bewegten und sie fürchten mussten, dass die sie schützende ausgehoben werde und sie im Fall zerdrücke, oder dass die umherfliegenden Trümmer ihrem Leben ein Ende machen. Auch das Arsenal war dem Boden gleich gemacht und die Waffen umhergestreut. — Bei Tagesanbruch stand kein Gebäude mehr; die Bäume waren, wenn nicht ausgerissen, ihrer Blätter und Zweige beraubt, und der üppigste Frühling in dieser einen Nacht in den schrecklichsten Winter verwandelt. Die Anzahl der Umgekommenen wurde in Barbados auf einige Tausend geschätzt. Auch hier litten die Befestigungen bedeutend; „denn so heftig war hier der Sturm unter Beihülfe der See, dass ein 12-Pfünder von der Süd- nach der Nordbatterie 420 Fuss weit (auf seinen Rädern natürlich) fortgeführt wurde."

Solcher Aufregung der Elemente gegenüber, sagt Dove, verstummt der Kampf der Menschen. Als die Laured und Andromeda bei Martinique scheiterten, schickte der Marquis de Bouillé die 25 Engländer, welche dem Tode entronnen waren, dem Englischen Gouverneur von St. Lucia mit dem Bemerken, er könne diese Opfer einer allgemeinen Katastrophe nicht als Gefangene behalten.

Wohl sind diese Zerstörungen, diese verderblichen mechanischen Wirkungen der Wirbelstürme so entsetzlich, so ungeheuer, dass man trotz der zuverlässigsten Zeugnisse sich sträuben möchte, sie für möglich zu halten. Und doch, wie unbedeutend, wie verschwindend klein sind sie gegenüber den kaum fassbaren mechanischen Leistungen, welche selbst in schwächeren Cyclonen durch die immer sich erneuernde Aufregung des Wassers und der Atmosphäre ausgeübt werden! Die lebendige Kraft, welche vom Sturmwinde auf die Meereswogen übertragen wird und welche sich durch eine starke Dünung Hunderte von Meilen über die Grenzen

der Cyclone hinaus fühlbar macht. können wir nicht einmal annähernd berechnen. Dagegen haben wir genügende Anhaltspunkte. um uns von der mechanischen Arbeit. welche zur Aufwühlung des Luftraumes in den Wirbelstürmen verwendet wird. eine bestimmte Vorstellung zu machen.

Wir haben gelegentlich des Cuba-Orkanes unserer Karte I darauf hingewiesen. dass im Allgemeinen die Windrichtungen nach innen zu von den Tangenten der Kreise abweichen. also ein Einströmen der Luft in dieser Cyclone gleichwie in anderen stattfinde, und dass Redfield jene Abweichung wohl etwas zu niedrig auf durchschnittlich fünf bis zehn Grad schätze für drei volle Tage. Den Durchmesser des orkanartigen inneren Theiles dieser Cyclone bestimmte Redfield zu mehr als 500 Engl. Meilen. Wir wollen einen noch kleineren inneren Theil von nur 100 Engl. Meilen Halbmesser in's Auge fassen: dann sind wir gewiss berechtigt, die Windgeschwindigkeit am Umfange desselben mindestens zu 90 Engl. Meilen per Stunde oder zu 40 Meter per Secunde anzunehmen. Wir wollen ferner annehmen. die Windrichtung sei an dem Umfange jenes inneren Theiles durchschnittlich nur um sechs Grad gegen die Tangente oder um 96 Grad gegen den verlängerten Radius nach innen zu geneigt. und zwar innerhalb der ersten 100 Meter über der Meeresfläche. was sicher viel zu wenig ist. Berechnen wir dann die Luftmasse. welche in diesen Sturmcylinder von 100 Meter Höhe und 100 Engl. Meilen Radius von aussen hereintritt, so ergeben sich nicht weniger als:

369½ Cubikmeilen Engl. in der Stunde oder
420⅓ Millionen Cubikmeter in der Secunde.

Trotz des geringen Neigungswinkels von nur 6 Grad ist die einströmende Luftmasse so bedeutend, dass fünf Stunden und 19 Minuten hinreichen, um jenen ungeheuren Sturmcylinder, der selbst 1963½ Cubikmeilen Inhalt hat, neu zu füllen!

Das Gewicht der Luft hängt ein wenig von der Temperatur und dem Barometerstande ab; gering gerechnet wiegt die während einer Secunde eintretende Luftmasse mindestens 490 Millionen Kilogramm oder beinahe zehn Millionen Centner. Und diese gewaltige Luftmenge ist in jeder Secunde während drei voller Tage und wahrscheinlich noch viel länger von aussen gegen das Innere geströmt! Durch sie wurde die Luft in unserem Sturm-Cylinder am 5., 6. und 7. October 1844 mehr als dreizehnmal vollständig er-

neuert! Woher kam diese Luft? In den orkanartigen Theil der Cyclone strömte sie aus dem mehr aussen gelegenen, wo nur ein gewöhnlicher Sturmwind herrschte, in diesen aber aus den umgebenden Gegenden der Erdoberfläche, wo das Wetter nur ein stürmisches Aussehen hatte u. s. w. Der einströmenden Luft wurde also allmälig die Geschwindigkeit eines Orkanes ertheilt, und dazu ist ein colossaler Aufwand von mechanischer Arbeit erforderlich.

Bei einer Geschwindigkeit von 40 Metern per Secunde besitzen die 490 Millionen Kilogramm Luft, welche in jeder Secunde in den Sturm-Cylinder eintreten, eine lebendige Kraft von 39950 Millionen Meter-Kilogramm. Ebenso gross ist die mechanische Arbeit, durch welche diese lebendige Kraft erzeugt wird, für jede Secunde; dieselbe beträgt also nicht weniger als $532^2/_3$ Millionen Pferdestärken. Wenn wir jedoch annehmen, dass die eintretende Luft grösstentheils von Passatwinden herrührt, und deshalb schon eine Geschwindigkeit von 30 Engl. Meilen per Stunde besass, ehe sie in den Bereich der Cyclone eintrat, so müssen wir jenen Betrag um seinen neunten Theil vermindern, und finden so folgendes Resultat:

Der Cuba-Orkan hat allein zur Bewegung der einströmenden Luft allermindestens eine Arbeit von $473^1/_2$ Millionen Pferdestärken während drei voller Tage aufgewendet, d. h. mindestens 15mal so viel, als alle Windmühlen, Wasserräder, Dampfmaschinen und Locomotiven, Menschen- und Thierkräfte der ganzen Erde in der gleichen Zeit leisten.

Hätten wir für die Abweichung der Windrichtung nach innen zu 10 statt 6 Grad angenommen, so würden wir 788 Millionen Pferdestärken erhalten haben; und wenn bei 6 Grad Abweichung die Windgeschwindigkeit 120 statt 90 Engl. Meilen pr. St. betrüge, so würden zur Bewegung der dann pr. Sec. einströmenden 13 Millionen Centner Luft sogar 1184 Millionen Pferdestärken erforderlich sein. Ebenso wächst dieser Arbeitsaufwand, wenn wir den Sturm-Cylinder grösser annehmen, als bei unserer Rechnung geschehen ist.

Keiner der uns bekannten Autoren über die Wirbelstürme nimmt auf diesen ungeheuren Verbrauch an mechanischer Arbeit Rücksicht; und doch sollte bei jedem Versuche, die Entstehung der Cyclonen zu erklären, dieser Punkt vor Allem ins Auge gefasst werden, weil niemals lebendige Kraft von selbst entstehen

kann. Nur eine einzige Art atmosphärischer Vorgänge von ähnlicher räumlicher Begrenzung lässt sich von mechanischem Standpunkte aus mit dieser Leistung der Wirbelstürme vergleichen, und das sind die ausgedehnten, heftigen Regengüsse, welche die Cyclonen regelmässig begleiten.

Thom hat für die folgenden vier Mauritius-Orkane die Regenmengen nebst dem tiefsten Barometerstande notirt, wobei wir bemerken, dass der mittlere Barometerstand in Mauritius etwa 30″ beträgt:

Orkan von	1786	1789	1836	1840
Regenhöhe	6″ 1‴,24	8″ 4‴,24	8″ 6‴,60	10″ 0‴,90
Barometer	28″,90	28″,70	28″,23	28″,90.

Auch während des Ostindischen Orkans vom April 1847, dessen Centrum mit 12 Seem. Geschwindigkeit an der Malabarküste hinaufging, fielen, wie Thom mittheilt, in Tellicherry 29 Zoll, und allein am 18. auf dem 8640 Fuss hohen Dodabetta 10 Zoll Regen; das Barometer sank dabei von 30 auf 28 Zoll im Centrum. Thom fügt seinen obigen vier Angaben hinzu: „Selbst unter den Tropen sind diese Regenmengen erstaunlich, und nahezu gleich einem Fünftel des ganzen Betrages, der in einem Jahre fällt. Bei den zwei zuletzt erwähnten Stürmen kann man sich auf die Genauigkeit des Regenmessers verlassen; durch ihre Uebereinstimmung bestätigen sie die früheren beiden Ergebnisse. Nehmen wir an, die Condensations-Sphäre sei auf einen Kreis von 300 Engl. Meilen Durchmesser begrenzt, und auf diesen falle acht Zoll Regen in 48 Stunden, so würde die ganze in diesen isolirten Raum fallende Regenmenge während 20 Tagen neunzig Engl. Cubik-Meilen Wasser betragen, und hinreichen, um die Oberfläche von Grossbritannien fünf Fuss vier Zoll hoch zu bedecken.“ Thom schliesst daraus, dass in den Bereich des Sturmes fortwährend feuchte Luft eindringen müsse. Wir aber wollen sein Beispiel nach einer anderen Richtung hin weiter verfolgen.

Neun Englische Cubik-Meilen Regen in 48 Stunden geben 213333 Cubik-Meter oder 213⅓ Millionen Kilogramm in jeder Secunde. Nehmen wir an, dieser Regen falle nur 300 Meter hoch herab, so werden bei seinem Sturze fortwährend nicht weniger als 850 Millionen Pferdestärken von der Schwerkraft geleistet und zur Beschleunigung der Regentropfen sowie zur Ueberwindung des Luftwiderstandes aufgewendet. Aber noch mehr: Bei der Condensation von 213⅓ Millionen Kilogramm Wasserdampf zu

Regen werden in jeder Secunde 128 Millarden Calorien latente Wärme frei und an die Luft abgegeben. In mechanische Arbeit umgesetzt, was durch Expansion der Luft leicht geschehen kann, würde der tausendste Theil dieser Wärmemenge hinreichen, um der von aussen in den Wirbelsturm einströmenden Luft eine solche lebendige Kraft zu ertheilen, wie wir sie vorhin für den Cuba-Orkan berechnet haben. Wir kommen im nächsten Abschnitte auf diese beachtenswerthen Beziehungen des Regens zu den Orkanen zurück.

Sechster Abschnitt.

Die Ursachen der Wirbelstürme.

Die Naturwissenschaften begnügen sich nicht damit, die Erscheinungen der belebten und unbelebten Welt sorgfältig zu beobachten, die Regeln, welchen sie gehorchen, erfahrungsmässig festzustellen und das Gefundene übersichtlich zu gruppiren und zu ordnen, sondern sie forschen zugleich nach dem inneren Zusammenhange der Erscheinungen, nach den Kräften, durch welche sie hervorgebracht werden, nach ihren tiefer liegenden Ursachen. So befriedigt auch Das, was wir von den Wirbelstürmen wissen, uns nicht völlig, so lange wir die Ursachen dieser furchtbaren Erscheinung nicht kennen. Woher rührt ihre entsetzliche Gewalt? Weshalb stürzen gerade in ihnen so gewaltige Regenmassen vom Himmel herab? Was zwingt die Sturmwinde, in bestimmtem Sinne um das windstille Centrum zu kreisen und sich demselben zugleich zu nähern? Warum sinkt das Barometer und wächst zugleich die Windgeschwindigkeit, jemehr man jenem windstillen Centralraume nahe kommt? Weshalb treten die Cyclonen vorzugsweise in den wärmeren Monaten auf? Und wie kommt es, dass sie bei aller Verschiedenheit ihrer fortschreitenden Bewegung doch in so regelmässigen Bahnen sich bewegen? Wie hängen mit einem Worte alle Erscheinungen, welche an Cyclonen wahrgenommen werden, unter einander zusammen? — Das sind lauter offene Fragen, welche jedem denkenden Leser schon wiederholt sich aufgedrängt haben werden.

Ihre Beantwortung dient keineswegs bloss zur Befriedigung eines geistigen Bedürfnisses, sondern sie allein macht es uns möglich, das Ganze des gewaltigen Meteores richtig aufzufassen

und in ihm allen einzelnen Erscheinungen die Bedeutung beizulegen, die ihnen in Wirklichkeit zukommt. Nur die Lösung jener Fragen kann uns ausserdem lehren, auf welche Punkte die Aufmerksamkeit der Beobachter etwa vorzugsweise noch zu lenken ist; zugleich vereinfacht sie das Studium der Wirbelstürme, indem sie uns den Schlüssel zu demselben in die Hand giebt.

Unsere Aufgabe würde uns wesentlich erleichtert werden, wenn es uns gelänge nachzuweisen, dass die Cyclonen, Wettersäulen und Wirbelwinde gleichartige Erscheinungen sind, die sich im Grunde nur durch ihre Grösse unterscheiden. So ganz leicht ist dieser Nachweis deshalb nicht, weil sehr eng begrenzte Cyclonen selten mehrere Schiffe zugleich überstreichen und deshalb nicht leicht ihre Wirbelbewegung constatirt werden kann, und weil sie gleichwohl zu gross sind, um, wie die Wettersäulen, von einem Beobachter völlig übersehen zu werden. Uebrigens erinnern wir hier daran, dass von den kleinsten Wirbelwinden bis zu den grössten Wettersäulen und Americanischen Tornados, deren Bahnbreite 1 bis $1\frac{1}{2}$ Englische Meilen beträgt, eine stetige Aufeinanderfolge bezüglich ihrer Grösse unzweifelhaft besteht, und dass wir wenigstens von einem Tornado, demjenigen von New-Harmony, wissen, dass er die Mitte einer 30 Engl. Meilen breiten Cyclone bildete (pag. 74).

Wir kennen auf offenem Meere Wirbelstürme bis zu 50 Seemeilen Durchmesser herunter. Piddington hat in seinem zweiten Memoir einen so kleinen beschrieben, welcher mit äusserster Heftigkeit am Cap Negrais in Ostindien wüthete; derselbe warf das Schiff Cashmere Merchant so auf die Seite, dass das Wasser die Luken erreichte, blies ihm die Segel fort und machte es leck. An der Küste von Ceylon bilden sich ebenfalls manchmal sehr heftige, aber eng begrenzte Stürme, die wegen ihrer Rotation wahre Cyclonen sind, jedoch wegen ihres geringen Umfanges von Piddington den Namen Tornado-Cyclonen erhalten haben. In seiner Sturmkarte der Bai von Bengalen hat Piddington zwei derselben verzeichnet, darunter denjenigen, welcher im Januar 1805 das Englische Kriegsschiff Sheerness von den Ankern riss und es in dem von Land eingeschlossenen Hafen Trincomalee an den Felsen leck machte Er schreibt denselben eine fortschreitende Bewegung von 5 bis 10 oder mehr Seemeilen per Stunde zu.

Zwischen diesen Tornado-Cyclonen und den früher besprochenen Tornados und Wettersäulen liegt nun die Kluft, die wir aus-

zufüllen suchen müssen, um so den Nachweis von ihrer Gleichartigkeit zu führen. Wir können sie aber ausfüllen einerseits durch die, namentlich in Indien beobachteten Staubstürme, anderseits durch die See-Tornados, welche besonders an der Africanischen Westküste in der heissen Zone bekannt sind, obwohl sie auch sonst vorkommen. Ueber die ersteren entnehmen wir einer Schilderung Baddeley's [49]) die folgenden Sätze:

„Viele Staubstürme kommen zu Lahore und im Pendjab vor, besonders während der heissen und trockenen Monate, und zwar sieben oder neun in einem Monate... Sie haben eine fortschreitende Bewegung, eine Drehbewegung gleich den Wirbelstürmen zur See, und eine eigenthümliche Schraubenbewegung von oben nach unten gleich einem Korkenzieher... Diese Stürme beginnen hier meistens von NW. oder W., und im Verlaufe von ungefähr einer Stunde haben sie nahezu den Kreis vollendet und sind vorübergeschritten. Ganz gleichartige Erscheinungen sind in allen Arten von Staubstürmen wahrzunehmen: von den wenige Zoll breiten an bis zu denjenigen, welche eine Ausdehnung von fünfzig Engl. Meilen und mehr besitzen... Einige von ihnen kommen mit grosser Schnelligkeit heran, vielleicht mit der Geschwindigkeit von 40 bis 80 Engl. Meilen per Stunde. Sie kommen zu allen Stunden vor, oft kurz vor Sonnenuntergang. Der Himmel ist klar und kein Hauch regt sich: auf einmal zeigt sich am Horizont eine tiefe Wolkenbank, und Ihr seid erstaunt, dass Ihr sie nicht früher bemerkt. Nach wenigen Secunden hat die Wolke den halben Himmel bedeckt, und nun ist keine Zeit zu verlieren. Es ist ein Staubsturm, und Hals über Kopf stürzt jeder in's Haus, um nicht von ihm erfasst zu werden... Gewöhnlich habe ich beobachtet, dass gegen Ende eines derartigen Sturmes ein plötzlicher Regenfall eintritt." Interessant ist noch, dass Baddeley in diesen Staubstürmen mittelst eines oben am Hause aufgerichteten Drahtes electrische Funken bis zu einem Zoll Länge gezogen hat.

Von den See-Tornados liefert uns die beste, durch neuere Beobachtungen vielfach bestätigte Beschreibung ein altes Manuscript aus dem 17. Jahrhundert. [50]) Dieselbe lautet:

„Die Tornados sind veränderliche Winde. Sie werden im Portugiesischen Travados genannt, aber am Treffendsten von den Griechen Eknephias (aus den Wolken heraus); denn ihr sicherstes Vorzeichen ist eine dicke Wolke, die plötzlich über dem Horizonte

aufsteigt und leicht in jenen Gegenden, wo die Luft allgemein klar und heiter ist, sichtbar wird.

„Die Wolke wird wegen ihrer Kleinheit zuerst Olho-de-Boy, das Ochsenauge, genannt; doch nach so unmerklichem Beginn dehnt sie sich allmälig aus, und zuletzt, das ganze Angesicht des Himmels mit einem Vorhang von Dunkelheit bedeckend, verursacht sie schreckliche Stürme, Donner und Blitz und schwellt die tobende See empor zu den Wolken, welche sie in Fluthen Regens mit Gewalt niederdrücken. Der Regen fällt eher in grossen Cascaden und eimerweise als in Tropfen, manchmal zugleich mit Hagelsteinen von erstaunlichem Umfang. So veränderlich und unstet sind die Tornado-Winde, so wenig gehorchen sie einer bestimmten Regel, dass sie gewöhnlich im Verlauf einer Stunde nach allen Strichen des Compas umspringen, indem sie in solch plötzlichen und ungestümen Stössen blasen, dass ein Schiff, welches gerade an einer Seite umschlagen wollte, nicht weniger gefährlich an der anderen gefasst wird. Manchmal springen sie ohne Unterlass um, und manchmal wieder blasen sie ruckweise, so dass Ihr nach jedem Stosse eine vollkommene Windstille habt. Lasst eine Flotte von Schiffen so nahe segeln wie möglich, ohne dass sie auf einander stossen, so werden sie verschiedene und entgegengesetzte Winde haben.

„Besonders an den Küsten von Africa kann man an einem und demselben Tage von vielen derselben beunruhigt werden, je eine halbe oder drei Viertelstunden lang: und wären sie ebenso anhaltend wie ungestüm, so würden Wenige durch das Guinea-Gold dahin gelockt werden, oder für das reichste Handelsgut des Ostens wagen, die Linie zu kreuzen.

„Unsere Seeleute begegnen den Tornados gewöhnlich vom 10. und 12. Grade N. Br. an, ebenso am Wendekreis des Steinbocks nahe dem Vorgebirge der guten Hoffnung. Dort erhebt sich die verhängnissvolle Wolke nur wie ein kleiner Fleck in der Luft, und verschiebt sich dann selbst, gleich einem Teppich über dem Gipfel des Berges sich ausbreitend; und sie erspähend ziehen die Seeleute selbst im ruhigsten Wetter sogleich ihre Segel ein und treffen Vorsorge für den nachfolgenden Sturm, welcher nicht lange nachher im Blitz und Winde niedersteigt und um so gefährlicher ist, weil er gleich mit äusserster Wuth beginnt und plötzlich in einem Augenblick umspringt. Ihr habt eine verrätherische Windstille, einen fürchterlichen Sturm und im Verlauf

einer Stunde wieder klaren Himmel und die See spiegelglatt. Die Portugiesen verloren bei ihren Entdeckungen Ost-Indiens von zwölf Schiffen neun, welche durch das ungeheure Ungestüm dieser plötzlichen Stösse kenterten ...

„Diese Eknephias kommen nicht nur an den Küsten von Malaguta und Guinea vor, sondern reichen bis Terra de Natal; und am Cap Gardafui, nahe der Mündung des Arabischen Golfes, beunruhigten sie jene Gegenden im Mai, wie Varenius aus den Holländischen Zeitungen ermittelte. Im Meere, gegen das Königreich Loango hin, in jenem Theile des Aethiopischen Oceans, sind die Tornados am häufigsten im Januar, Februar und März ... An den Küsten Guineas herrschen sie im April, Mai und Juni." — Sie kündigen sich oft 2 bis 3 Stunden im Voraus an und dauern etwa eine, höchstens zwei Stunden. Nie kommen sie in den Wintermonaten vor. Sie sind „am heftigsten, wenn die Sonne dort dem Zenith nahe ist und in der dortigen Regenzeit, wenn die Luft feucht ist und grössere Mengen blähender Dünste liefert."

Eine Hauptautorität über die See-Tornados ist noch immer der treffliche Pirat Dampier. 44) Auch er hat sie hauptsächlich in dem tropischen und zugleich östlichen Theile des Atlantischen Oceans kennen gelernt; doch sind auch das Indische Meer und die Südsee nahe der Linie, sowie die Küsten von Mexico und Angola denselben ausgesetzt. Er schildert die Africanischen wie folgt:

„In unseren Sommermonaten giebt es dort nur Windstillen und Wirbelwinde, welche im Spanischen Tornados heissen. Dieses sind Windstösse, die sich gewöhnlich gegen den regelmässigen Wind erheben und sich plötzlich bilden, aber nicht lange andauern. Sie sind so heftig, dass ein Schiff unter vollen Segeln, welches diese Windstösse auszuhalten hat, grosse Gefahr läuft, umzuschlagen oder wenigstens die Masten zu verlieren ... Es ist schon viel, wenn ein Schiff eine Seemeile zurücklegt, ehe der Wind sich auf einmal legt oder nach Süden dreht. Man weiss nicht einmal, ob er nur drei Minuten anhält, ehe er umspringt, und manchmal dreht er sich schneller als das Schiff." Und an einer anderen Stelle sagt Dampier:

„Diese Tornados beginnen gewöhnlich zu Anfang April, und die Côte d'Or ist bis zum Anfang Juli selten von ihnen befreit. Manchmal kommen drei oder vier an einem Tage, aber sie gehen sogleich vorüber. Höchstens dauern sie zwei Stunden, und der stärkste nicht selten nur eine Viertel- oder halbe Stunde. Diesen Wirbelwind begleiten

schreckliche Donnerschläge, Blitze und Regen; und der Wind ist so rasend, dass er manchmal das Blei, mit denen die Häuser gedeckt sind, heruntergerissen und es so fest aufgerollt hat, wie nur die Kunst der Menschen es vermocht hätte." — Die Küste Guinea vom Cap Lopez bis zum Cap des Palmes ist nach Dampier „eine äussert feuchte Küste, schrecklichen Tornados und übermässigen Regengüssen unterworfen, zumal im Juli und August, in welchen Monaten es selten einen schönen Tag giebt."

Ueber die Tornados der Americanischen Westküste verdanke ich Herrn Professor von Seebach die folgende briefliche Mittheilung: „Sie sind an der Westküste Central-Americas während unserer Sommermonate sehr gemein und werden dort Chubasco genannt. Sie reichen beiderseits nur wenige Meilen von der Küstenlinie, pflegen aus WNW., also parallel der Küste einzusetzen und sind besonders häufig um Sonnenuntergang. Sie kommen in circa 30 Minuten, wehen meistens etwa ebenso lange mit der vollständigen Stärke des Orkans und sind dann ebenso schnell spurlos verschwunden. Von dem begleitenden Regen und der Gewalt der gleichzeitigen electrischen Entladungen lässt sich kaum eine Beschreibung machen. Sie sind nur ganz local, denn schon unmittelbar darauf ist die Südsee wieder glatt. Der Wind springt meist nach SW. um etc. Wenn die Axe überhaupt fortschreitet, so ist es doch nur auf wenige Meilen. Leider habe ich nur vier erlebt und davon drei bei Nacht, d. h. zwischen 7 und 8 Uhr Abends."

Aus diesen Schilderungen der See-Tornados geht hervor, dass dieselben ihrer Ausdehnung nach zwischen den Wirbelstürmen und den Tornados der Vereinigten Staaten stehen. Die letzteren brauchen, um einen Ort zu überschreiten, selten mehr als eine Minute; auch die See-Tornados gehen oft in wenigen Minuten über ein Schiff hinweg, ja manchmal „dreht der Wind sich schneller als das Schiff"; dann aber giebt es auch sehr heftige von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde Dauer und bis zu zwei Stunden hinauf. Die noch länger anhaltenden wird jeder Seemann wohl schon mit dem Namen Orkan oder Teifun belegen, während Piddington sie Tornado-Cyclonen nennt. Wirbelstürme, die in sechs bis acht Stunden über Schiffe oder Inseln hinwegschreiten, sind ja keine Seltenheit, obgleich natürlich von grösseren Cyclonen, welche an jedem von ihnen überstrichenen Orte 20 bis 70 und mehr Stunden lang dauern, ausführlichere Nachrichten in Umlauf kommen. Selbst

der oben beschriebene, furchtbare Orkan vom 10. und 11. August 1831 scheint auf Barbados nur acht bis neun Stunden gewüthet zu haben; und in St. Thomas hat der schreckliche Antigua-Sturm vom 2. August 1837 als Orkan noch weniger lange getobt, wie aus dem Tagebuche der Water-Witch und aus den von Dove mitgetheilten Wind- und Barometer-Beobachtungen zu ersehen ist.

Wäre uns die Geschwindigkeit bekannt, mit welcher die See-Tornados fortrücken, so könnten wir aus ihrer örtlichen Dauer leicht ihren Durchmesser berechnen. Betrüge z. B. jene Geschwindigkeit wie bei den Nordamericanischen Land-Tornados durchschnittlich 32 Seemeilen per Stunde, so wäre der Durchmesser eines viertelstündigen See-Tornados acht, und derjenige eines zweistündigen sogar 64 Seemeilen gross. Selbst bei der Geschwindigkeit von 10 Seemeilen pr. St., welche nur dreimal so gross ist wie die eines Fussgängers, würde der Durchmesser eines zweistündigen Tornados schon 20 Seemeilen betragen. Ein solcher Tornado kommt also, was die Grösse anlangt, der kleinsten, 50 Seemeilen überspannenden Cyclone Piddington's schon recht nahe, und den stetigen Uebergang zu letzteren bilden, wie schon erwähnt, die Tornado-Cyclonen. Sonach dürfen wir Piddington's Annahme als erwiesen betrachten, dass nicht bloss von den Wirbelwinden und Wasserhosen bis zu den grösseren Tornados, sondern auch von diesen bis zu den eigentlichen Wirbelstürmen eine vollständige Reihenfolge bezüglich ihrer Grösse sich aufstellen lässt.

Diese Thatsache, gegen deren Annahme kein stichhaltiger Grund vorliegt, giebt uns einen deutlichen Fingerzeig über die Entstehung und die Fortdauer der Wirbelstürme. Wie in den Wirbelwinden und Wettersäulen der vertikale, in den meisten Fällen aufsteigende Luftstrom das Ursprüngliche ist, indem er das Heranströmen der Luft zum Fusse, die Abnahme des Luftdruckes, die rasche Bildung von Regen- und Gewitterwolken verursacht und die grössten mechanischen Wirkungen hervorruft: so auch in den Wirbelstürmen. Darauf weist uns auch die ungeheure Menge von Luft hin, welche unten in den Cyclonen allmälig gegen die luftdünne Mitte heranströmt; denn die allermindestens $420\frac{1}{3}$ Millionen Cubikmeter Luft per Secunde, welche tagelang in den Cuba-Orkan eingeströmt sind, können nicht vom Meere verschlungen, sie müssen vielmehr in der Nähe des Centrums

aufgestiegen sein. Darauf weisen uns endlich die ausgedehnten Wolkenmassen hin, von denen die Cyclonen überdeckt sind, und die gewaltigen Regenmengen, die fortwährend aus ihnen herabstürzen. Namentlich diese Regenmengen wären ganz unerklärlich, wenn man die Annahme nicht gelten lassen wollte, dass sie in Form von durchsichtigem Wasserdampf mit der aufsteigenden Luft zu den stets sich erneuernden Wolken emporgetragen werden. Von Jedem aber, der die Gleichartigkeit der erzeugenden Ursachen bei den Wettersäulen und den Wirbelstürmen leugnen will, ist der Nachweis einer bestimmten Grenze zu leisten, wo erstere aufhören und die letzteren beginnen. — Wir werden sehen, dass das Vorhandensein eines starken aufsteigenden Luftstromes im Innern der Cylonen auch deren Drehungssinn und ihre fortschreitende Bewegung sehr einfach erklärlich macht.

Nur in zwei wichtigen Punkten bedingt die Grösse der Cyclonen eine Abweichung von den Vorstellungen, welche unserer Erklärung der Wirbelwinde und Wettersäulen zu Grunde liegen. Wenn wir bei letzteren von der Voraussetzung eines labilen Gleichgewichts-Zustandes in der Atmosphäre ausgehen durften und mussten, so wird uns diese Voraussetzung für die vielen Tausend Quadrat-Seemeilen der Meeresfläche, welche zugleich oder nach und nach von einem grossen Wirbelsturme betroffen werden, nicht mehr gestattet sein. Und wenn wir zuerst bei Olmsted's Rohrbrand-Wirbelwinden und dann überhaupt bei den Wettersäulen die bald unmerkliche, bald sehr rasche und einmal nach rechts, ein andermal nach links gehende Drehbewegung und ebenso die fortschreitende Bewegung den Unebenheiten des Bodens und überhaupt ungleichen Verhältnissen rings um den Fuss des Wirbels zuschreiben durften, so ist auch Dieses bei Cyclonen von oft tausend Seemeilen Durchmesser und auf offenem Meere nicht mehr zulässig. Dagegen dürfen und müssen wir voraussetzen, dass die untersten Luftschichten im Wirbelsturm und rings um denselben stark mit Wasserdämpfen geschwängert und in den Sommermonaten auch verhältnissmässig stark erwärmt sind.

Lassen wir zunächst die Frage nach der Entstehung der Cyclonen bei Seite, um uns über die Fortdauer einer schon vorhandenen Rechenschaft zu geben, und gehen wir dabei von der Thatsache aus, dass im Innern derselben ein sehr umfangreicher und starker Luftstrom gen Himmel steigt. Die Luft muss bei diesem Aufsteigen, weil sie zugleich um die Cyclonenaxe rotirt,

mehr oder weniger steile Schraubenwindungen beschreiben. Erinnern wir uns, dass dieser aufsteigende Luftstrom z. B. im Cuba-Orkan der untersten, 100 Meter hohen Luftschicht mindestens $420^1/_3$ Millionen Cubikmeter Luft in jeder Secunde entführte. Da der Luftdruck nach oben hin abnimmt, so dehnen diese Luftmassen sich allmälig aus und kühlen sich zugleich ab; ihr Wasserdampf muss deshalb, sobald sein Sättigungspunkt erreicht ist, sich nach und nach zu Nebel und Wolken verdichten. Wahrscheinlich zeigen uns die losen, fliegenden Sturmwolken unten die zuerst gebildeten nebelartigen Niederschläge, weiter oben aber verdichten sich immer grössere Mengen des mitgerissenen Wasserdampfes zu compacten Wolkenmassen, welche selbst in grosser Ferne wie eine düstere, unheilvolle Bank erscheinen. Die zugleich frei werdende latente Wärme des Dampfes verlangsamt die Abkühlung der aufsteigenden Luft, dehnt diese aus und beschleunigt dadurch ihr Emporsteigen. Zugleich erweitert der schon unten sehr breite Luftstrom sich nach allen Seiten, wie auch aus der Thatsache hervorgeht, dass die fliegenden Storm-scuds sich in Spiralwindungen von der Cyclonen-Axe entfernen. In einer uns unbekannten Höhe fliessen diese aufsteigenden Luftmassen nach Verlust des grössten Theiles ihres Dampfgehaltes, der als Regen zu Boden fällt, seitlich ab und breiten so den durch sie gebildeten und stets erneuerten Wolkenteppich aus bis weit über die Grenzen der Cyclone. Was aber wird unten an der Meeresoberfläche vorgehen?

Unter der emporsteigenden Luftsäule, in welcher durch die frei gewordene Wärme des verdichteten Wasserdampfes eine höhere Temperatur herrscht als in ihrer Umgebung, muss der Luftdruck niedriger sein als ringsum. Zu dieser Verdünnungsstelle strömt von allen Seiten, jedoch den vorhandenen Spiralwindungen des Sturmwindes folgend, die Luft heran, anfangs langsam, dann schneller und immer schneller, weil von aussen her der grössere Luftdruck sie treibt. Die Thatsache, dass der Sturmwind um so stärker wüthet, je näher man dem luftdünnen Centralraume kommt, wird hiedurch verständlich. Zugleich dehnt die einströmende Luft allmälig sich aus, z. B. bis um ein Zwanzigstel ihres anfänglichen Volumens, wenn das Barometer in der Cyclone um $1^1/_2$ Zoll gefallen ist. So kommt es, dass ihr Dampfgehalt manchmal schon an der Meeresfläche anfängt sich zu verdichten; die Wolken hängen im Innern der Cyclone tief

auf das Meer hernieder oder, wie wir im Berichte der Arkona lasen, „Meer und Wolken scheinen sich zu verschlingen“. Diese Ausdehnung der Luft und die mit ihrer Geschwindigkeit und Annäherung an das Centrum doppelt rasch wachsende Centrifugalkraft bewirken, dass die einströmende Luft, noch ehe sie die Cyclonen-Axe wirklich erreicht hat, aufzusteigen beginnt, so einen windstillen oder nur von schwächeren und unregelmässigen Winden erfüllten Centralraum sturmfrei lassend. Ueber einer weiten ringförmigen Fläche, nicht über einer vollen Kreisfläche steigt die Cyclonenluft allmälig, durch ihre Dampfwärme beschleunigt, empor.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir hervorheben, dass manchmal im Centrum eines Wirbelsturmes der Himmel sich aufklärt, während ringsum schwere Wolken sich aufthürmen. So finden wir in Thom's Bericht über die Exmouth-Cyclone vom Mai 1840 (im südlichen Indischen Ocean) die folgende Stelle, nachdem zuvor eine grausige Windstille von einer vollen Stunde geschildert ist, in welcher das Quecksilber in der Barometerröhre ganz verschwand: „Um 12 Uhr 20 Minuten (gegen Ende der Windstille) erschien die Sonne auf wenige Minuten und verschwand alsdann, worauf ein schauerlich hohles, entferntes Poltern oder Gerumpel folgte. Nach wenigen Minuten erhielten wir einen schrecklichen Windstoss aus SSO., der das Schiff völlig auf die Seite legte.“ Auch im Mauritius-Orkan von 1840 wurde während der Windstille blauer Himmel und auf einige Minuten auch die Sonne sichtbar, während der Sturm ringsum in 10 Minuten Abstand tobte. In dem von Reid[36b]) veröffentlichten Journal des Schiffes Atlas lesen wir d. d. 14. December 1831: „26° 10′ S. Br., 54° 11′ O. L. Um 6 Uhr Abends wurde der Sturm schrecklich, die Masten schwankten wie Weiden, jeden Augenblick sahen wir ihrem Fortgange entgegen. Um 7 Uhr legte sich der O.-Wind und die Wolken (sky) brachen auf von N. gegen O. Dieses dauerte kurze Zeit, worauf der Sturm oder Orkan eben so wüthend von NW. bis SW. losging, von Blitz und Regen begleitet.“ Piddington hat verschiedene ähnliche Fälle zusammengestellt; so von zwei Tornado-Cyclonen und namentlich von der Bengalischen Cyclone im October 1849, bei welcher während der zweistündigen centralen Windstille die Sterne sehr klar oben strahlten, inmitten einer dicken Nebelbank ringsum. Im Ganzen aber scheint diese Helle im Centrum, obgleich die Spanier für sie den besonderen Namen „Auge des Sturmes“ besitzen, doch sehr selten einzutreten.

Die rings um das stille Centrum aufsteigenden Luftströme werden so lange fortdauern, als genügende Mengen Wasserdampf mitgerissen werden, um bei ihrer Verdichtung die Luft zu erwärmen und so empor zu treiben. Denn die bewegende Kraft in den Wirbelstürmen ist diejenige der Wärme, welche durch Condensation atmosphärischen Wasserdampfes frei wird. Alle Thatsachen sprechen für diese Erklärung der Cyclonen, durch welche vor Allem die rasende Gewalt der Orkane und die ungeheuren Regenmengen, die in ihnen zur Erde fallen, unserem Verständnisse näher rücken. Sie macht auch begreiflich, weshalb die Cyclonen vorzugsweise in den Sommermonaten und am heftigsten über Oceanen und in der heissen Zone auftreten; denn hier und in jenen Monaten enthalten die unteren Luftschichten die grösste Menge Wasserdampf. Die Abnahme des Luftdruckes und die Zunahme der Windgeschwindigkeit nach innen hin, sowie die centrale Windstille sind vorhin schon erklärt worden. Auch über die unregelmässigen, heftigen Windstösse, die in Orkanen vorherrschen und von den Seeleuten besonders gefürchtet werden, können wir uns jetzt Rechenschaft geben.

Jeder Seemann weiss, dass beim Herannahen eines heftigen Regenschauers regelmässig starke Böen oder Windstösse sich fühlbar machen; und auch auf dem Lande, zumal bei Gewittern, erlebt man häufig genug derartige Stürme im Kleinen. Offenbar reissen die schweren und dichten Regentropfen eine Menge Luft mit herab, die vor dem Schauer her heftig nach aussen strömt. Nun ist es sehr wahrscheinlich, dass in Cyclonen der aufsteigende Luftstrom die Regentropfen gleich nach ihrer Bildung zunächst mit emporträgt, bis sie in solcher Menge sich anhäufen, dass sie mit Gewalt sich einen Weg nach unten bahnen. Diese fallenden Wassermassen drängen mit viel grösserer Gewalt, als ein gewöhnlicher Regenschauer, unten die Luft nach allen Seiten fort; sie verstärken die Sturmgewalt an der einen Seite zu der eines plötzlichen Windstosses, während sie dieselbe auf der entgegengesetzten Seite vielleicht bis zur momentanen Windstille mässigen, auf den übrigen Seiten aber die Richtung des Sturmwindes mehr oder weniger ändern. Hiemit stimmt auch die Thatsache überein, dass die Richtung dieser Böen, welche, wenn einmal gebildet, weithin sich erstrecken können, bedeutenden Schwankungen unterliegt.

Die im Wirbelsturm aufsteigenden Luftmengen müssen, wie

schon oben gesagt, in einer uns unbekannten Höhe seitlich abfliessen. Wenn sie nun auch andere daselbst befindliche Luftmassen vor sich herschieben mögen und wenn auch dieses Abfliessen in einem sehr grossen Umkreise stattfindet, so ist es doch wahrscheinlich, dass dadurch der Luftdruck am äusseren Rande der Cyclone, wenn auch nur wenig, erhöht wird. Diese Folgerung aus unserer Theorie der Wirbelstürme wird durch mehrfache Beobachtungen bestätigt. So sagt Redfield [35k]): „Die Beobachtung hat gezeigt, dass den meisten unserer Winterstürme ein hoher Barometerstand vorhergeht"; und die von ihm [35p]) veröffentlichte, über 40 Stunden sich erstreckende Barometer-Curve des Kriegsschiffes Vincennes für den Teifun der Bonin-Inseln (27.—29. Oct. 1854) zeigt sehr deutlich dieses Anschwellen des Luftdruckes vor und hinter dem Orkan, obwohl dasselbe nur etwa eine Linie betrug. Ein anderes interessantes Beispiel giebt Reid [36b]). Derselbe befand sich am ersten October 1848, während auf der Westhälfte des Atlantischen Oceans nach Neufundland hinauf ein Sturm tobte, im Postdampfer Medway auf der Osthälfte desselben Oceans. Bei schönem Wetter erhielt das Schiff eine zuerst westliche Dünung, welche zunahm und am genannten Tage das Schiff im 46° N. Br. und 14° W. L. nahezu aus Norden traf. Reid beobachtete selbst aufmerksam diesen Wogengang, weil er schon vermuthete, dass derselbe von einem sehr entfernten Sturme herrühre. „Während nun der Orkan an der Westseite des Atlantischen Oceans wüthete, s t i e g e n zwei Barometer an Bord des Medway einen halben Zoll über ihren gewöhnlichen Stand, und lieferten so einen weiteren Beweis, dass der Luftdruck gerade jenseits der Grenze von Wirbelstürmen steigt."

Zur Lösung der Frage „W i e e n t s t e h e n d i e W i r b e l s t ü r m e?" liefert uns die Beobachtung leider sehr wenig Anhaltspunkte, obgleich wir manchmal ziemlich genau angeben können, w o u n d w a n n sie entstehen. So fand Reid [36b]), dass der Orkan XIX unserer Karte II am 10. September 1846 zwischen den Inseln Trinidad, Margarita, Grenada und Tobago sich gebildet haben müsse. Auf Trinidad fiel an jenem Tage das Barometer auf 29", 86, und es wurde gegen Norden viel Donner und Blitz wahrgenommen; in Tobago war vor dem 11. das Wetter ungewöhnlich unruhig (boisterous) und der Wind veränderlich, auch regnete es stark am 10. Am 11. verursachte dieser Sturm auf Barbados und den östlichen Antillen einigen Schaden; doch wehte

er, während er nordwärts nach Portorico zu sich bewegte, nicht sehr heftig, sondern nur als gewöhnlicher Sturm. Während er aber fortrückte wuchs seine Stärke, bis er ein wüthender Orkan wurde. — Ueber den Wirbelsturm vom 18. bis 21. Januar 1860 unserer Karte IV wird uns berichtet[43]), dass am 17. beinahe rings um die Gegend, wo er entstand, Blitze beobachtet wurden, und dass daselbst das Wetter schwül und drückend war bei leichten Winden. — Piddington[37 b]) hat uns ferner zwei Berichte von Schiffen überliefert, die in der Bai von Bengalen sich innerhalb erst entstehender, heftiger Cyclonen befanden. Wir erfahren daraus, dass am Himmel dichte, tief hängende Wolken sich sammelten, dass es blitzte und in Strömen zu regnen anfing, und dass der Wind in heftigen, immer stärker werdenden Stössen blies. Piddington giebt uns endlich noch den folgenden aus Peltier's Buch über die Tromben entlehnten Bericht vom Entstehen eines Sturmes.

„Dem Dr. Leymerie verdanke ich den Bericht von einer Trombe, welche er am 2. September 1804 an Bord des Kutters Le Vautour wahrnahm. Dieses Schiff segelte mit Kaperbriefen und kam von Cayenne der Africanischen Küste zu; sie waren nicht weit von Gambia als dieses Meteor stattfand. Ehe die Trombe sich bildete, herrschte Todtenstille. Der vorhergehende Tag war sehr heiss gewesen und seit dem Morgen hatte sich der Himmel mit zahlreichen dicken Wolken bedeckt. Der Kutter jagte ein Englisches Sklavenschiff, als sie plötzlich eine Wassersäule von etwa 100 Metern sahen, die aus der See sich erhob und aufstieg, um sich mit einer, aus einer Wolke sich herabsenkenden Dunstsäule zu vereinigen. In diesem Augenblicke hörte die Windstille auf und der Sturm (tempête) begann heftig zu wehen. Wir haben Dr. Leymerie's Ausdruck Wassersäule beibehalten, obgleich wir überzeugt sind, dass sie nicht von flüssigem Wasser, sondern, wie wiederholt gezeigt, von Wasser in Form dichten Dampfes gebildet wurde. Diese Säule war durch und durch leuchtend; sie hatte ein phosphorescirendes Aussehen und war leicht gelb oder wie ein Hirschkalb gefärbt. Die See selbst war jenen Tag leuchtend und das Schiff liess einen langen Feuerstrich hinter sich. Diese Trombe, sowie der sie begleitende Sturm dauerten vierzehn Stunden und verursachten zahlreiche Schiffbrüche an jenen Küsten. Sie endeten erst am folgenden Tage um 4 Uhr Morgens, so dass sie etwa um 2 Uhr Nach-

mittags begonnen hatten und einen grossen Theil der Nacht andauerten."

Auch der Antigua-Orkan vom August 1837 war, wie der oben mitgetheilte Bericht des Capitain Seymour (pag. 108) vermuthen lässt, vielleicht aus einer grossen Wasserhose entstanden; bei anderen Cyclonen mag zuerst die rasche Bildung ausgedehnter Gewitterwolken einen starken aufsteigenden Luftstrom hervorgerufen haben; oder auch es mag durch das Vordringen kalter Luftströme in der Wolkenregion eine bedeutende und umfangreiche Störung des atmosphärischen Gleichgewichtes eingetreten sein. Genug, Ursachen lassen sich schon finden, welche unter günstigen Umständen das erste Emporsteigen der warmen und feuchten unteren Luftschichten in grossem Massstabe veranlassen. Nach der Stelle, wo Dieses stattfindet, strömt dann die benachbarte Luft von allen Seiten heran, um ebenfalls aufzusteigen, und der Wasserdampf bewirkt, dass diese Bewegung so bald kein Ende nimmt.

Aber muss nicht auf diese Weise ein centripetaler Sturm an der Erdoberfläche sich bilden? Keineswegs! Sondern wenn unter den aufsteigenden Luftmassen der Luftdruck sich sehr vermindert und der so entstehende Verdünnungs-Raum ausgedehnt ist, so muss allemal eine wirkliche Cyclone entstehen. Dieses ist eine Folge der Rotation unseres Erdkörpers, wie unseres Wissens zuerst Belt [12]) hervorgehoben hat. Zur Erläuterung nehmen wir beispielsweise an, die Luft ströme allseitig aus einer Entfernung von 120 Seemeilen oder zwei Graden des Erdmeridians zur Verdünnungsstelle heran, und zwar anfangs wirklich centripetal. Befindet sich alsdann dieser luftdünne Centralraum auf der nördlichen Erdhälfte, so ist er der Erdaxe näher, als die aus Süden, und weniger nahe, als die aus Norden heranströmenden Luftmassen, und die Geschwindigkeit, mit der er um die Erdaxe rotirt, ist folglich kleiner als diejenige der südlichen und grösser als die der nördlichen Luftströme. Die südlichen müssen deshalb dem Centrum nach Osten zu voraneilen, und die nördlichen hinter demselben nach Westen hin zurückbleiben; und trotz ihrer anfänglichen centralen Bewegung werden diese Luftströme nicht in Radien dem Centrum sich nähern, sondern in Spiralen, welche von N. über W. nach S. und O., also gegen die Sonne (↺) sich winden.*)

*) Dass auch die Luftmassen, welche von Osten oder Westen her zum

Die nachrückenden Luftmassen folgen diesen Windungen, haben aber wegen ihrer Centrifugalkraft und weil der Einfluss der Erdrotation fortdauert, beständig die Tendenz, sie der Kreisform zu nähern, so dass es begreiflich ist, wenn bei ausgedehnten Cyclonen die centripetale Bewegung sehr zurücktritt gegen die um das Centrum kreisende. — Befindet sich das Verdünnungs-Centrum auf der südlichen Erdhälfte, so müssen die allseitig anströmenden Luftmassen aus gleichen Gründen im Sinne N., O., S., W. oder wie ein Uhrzeiger ⟳ das Centrum umkreisen.

Die von der Erdrotation herrührenden Geschwindigkeits-Componenten der zuströmenden Luft sind übrigens von vornherein gar nicht so unbedeutend, wie man vielleicht annehmen möchte. Befindet sich z. B. das Verdünnungs-Centrum in 20 Grad N. Br., so hat in 120 Seemeilen Entfernung die Luft im Süden eine um 10 Seemeilen grössere und im Norden eine um 11 Seemeilen kleinere Geschwindigkeit nach Osten hin als das Centrum; jene Geschwindigkeits-Unterschiede betragen sogar 20 und 21 Seemeilen per Stunde, wenn das Centrum auf dem vierzigsten Breitengrade sich befindet.

Ohne Zweifel befördert die so entstehende Wirbelbewegung das Andauern und Wachsen der centralen Luftverdünnung und damit zugleich die oft wochenlange Dauer der Cyclonen. Könnte die Luft ohne Wirbelbewegung direct von allen Seiten der Verdünnungsstelle zuströmen, so würde daselbst ein bis zu zwei Zoll niedrigerer Barometerstand sich wohl nicht lange erhalten können, auch würden die feuchteren unteren Luftschichten bis auf grosse Entfernungen hin bald erschöpft sein und die latente Wärme des Dampfes würde nach kurzer Zeit aufhören, in Wirksamkeit zu treten. Die Americanischen Tornados und wohl auch die kleineren See-Tornados bieten uns Beispiele von derartigen, wenn auch äusserst heftigen, doch nach wenigen Seemeilen Weges endenden, kleineren Orkanen, in denen die Drehbewegung weit weniger merklich ist als in grossen Cyclonen. Dass sie schwächer ist rührt daher, dass der Einfluss der Erdrotation auf die Bewegung der zuströmenden Luft um so geringer wird, je kleiner der Durchmesser der Verdünnungstelle ist. Die See-Tornados treten

---

luftdünnen Centralraum strömen, denselben Drehungssinn hervorrufen, ist in den Verhandlungen der Pariser Akademie, Comptes Rendus T. 49 p. 659, 686 und 769 bewiesen.

zudem vornehmlich in der Nähe des Aequators auf, wo jener Einfluss ohnehin schwächer ist. Denn befände sich z. B. das Centrum der Verdünnung auf dem Aequator selbst, so würde in den zuströmenden Luftmassen gar keine Tendenz zur Drehung vorhanden sein; vielmehr würden sowohl die von Norden als auch die von Süden aus 120 Seemeilen Entfernung zuströmenden Luftmassen nach Westen zu hinter dem Centrum zurückbleiben, jedoch nur mit der unbedeutenden Geschwindigkeits-Differenz von $^4/_7$ Seemeilen per Stunde. Auch die bekannte Thatsache, dass innerhalb der ersten fünf Grad nördlicher wie südlicher Breite kaum jemals Cyclonen, sondern nur Wasserhosen und allenfalls Tornados beobachtet worden sind, findet in diesem mangelnden Antrieb zur Drehbewegung eine ebenso einfache wie ausreichende Erklärung.*)

Um unsere Vorstellungen über die Wirbelstürme zu vervollständigen, müssen wir noch die Höhe, bis zu welcher sie sich erstrecken, näher in's Auge fassen. Redfield [35 m]) hält es für wahrscheinlich, dass diese Höhe in den centralen Theilen einer Cyclone grösser ist, als in den äusseren, und in niederen Breiten bedeutender, als in höheren; für die Atlantischen Küsten der Vereinigten Staaten schätzt er sie nur auf eine Englische Meile. Dabei stützt er sich auf die Beobachtung, dass die Wolkenschicht, welche den Orkan und die fliegenden Sturmwolken überdeckt, in ihrer Bewegung nicht merklich vom unten herrschenden Sturmwinde beeinflusst zu werden scheine, trotz ihrer geringen Höhe von kaum einer Engl. Meile. Er vergleicht deshalb den Sturmkörper niemals mit einer wirbelnden Säule, sondern stets mit einem Discus, einer flachen Scheibe, deren Durchmesser 200mal so gross sein möge, wie die Höhe. Gegen diese Ansicht Redfield's möchten wir vor Allem geltend machen, dass doch jene obere Wolkenschicht als ein nie fehlender Begleiter zum Wirbelsturme gehört, dass sie von ihm erzeugt und stets erneuert wird. Die grossen Entfernungen aber, aus welchen manchmal jene Schicht als drohende Wolkenbank gesehen wird, lassen uns schliessen, dass ihre Höhe sehr bedeutend sein muss. Wir erinnern hier an Dampier's Bemerkung,

*) Ueber Stürme auf der Linie ist uns nur eine einzige Stelle, und zwar bei Piddington aufgestossen. Derselbe sagt gelegentlich der Sturmbahnen des Stillen Oceans: „At the Kingsmill Groupe on the Equator! violent storms, which seem to be Tyfoon-like are experienced."

dass manchmal zwölf Stunden lang vor Ankunft eines Teifuns eine schreckliche, schwere Wolke im NO. wahrzunehmen sei, die kurz vor dem Ausbruch des Sturmes rasch sich zu bewegen beginne. Reid[36a]) theilt einen Brief des Capitains Mondel von dem Westindienfahrer Castries mit, welcher eine so dicke und feste Wolkenbank sah, dass dieselbe bei hellem Tageslicht um 3½ Uhr Nachmittags von Allen an Bord für Land gehalten wurde; und doch befand sich das Schiff damals 350 Seemeilen entfernt von St. Lucia, wo am folgenden Tage eine Cyclone stark gespürt wurde. Wenn auch die Wolkenbank 350 Seem. vom Schiffe entfernt war, so erhob sich ihr Gipfel um mehr als 15 Seemeilen über die Meeresoberfläche. Endlich möchte auch die grosse, fast nächtliche Dunkelheit im Innern vieler Cyclonen nur durch die Annahme einer nicht blos dichten, sondern auch ausserordentlich hohen Wolkenmasse zu erklären sein.

Piddington glaubt „kühn behaupten zu können, dass die Höhe des Sturmdiscus niemals zehn Seem. überschreitet und gewöhnlich weit geringer ist.“ Thom macht auf die Thatsache aufmerksam, dass Wirbelstürme die luftigen, 3000 bis 5000 Fuss hohen Berge von Mauritius und Bourbon überschreiten, ohne merklich aufgehalten oder irgendwie beeinflusst zu werden; er sieht darin einen Beweis, dass ihre Wirksamkeit sich bis weit über die Erdoberfläche erstreckt, zumal da jene beiden Inseln den Passat wesentlich hemmen und in neue Kanäle lenken. Gegen Redfield's Ansicht sprechen aber direct die von Reid[36b]) veröffentlichten meteorologischen Beobachtungen auf dem 8640 Fuss hohen Dodabetta. Auch in dieser grossen Höhe von 1.8 Engl. Meilen blies die Cyclone vom 16. bis 18. April 1847 mit Orkanstärke (30 Pfund Druck). Das Barometer sank von 22″.10 auf 21″.89 Englisch, während das Orkancentrum in etwa 190 Seemeilen Entfernung vorbeiging, und vom 16. bis 20. April fielen 17″.70 Regen bei der Station.

Wenn auch, wie wir glauben, die aufsteigende Luft sich bis zu 10 oder 15 Seem. über der Erdoberfläche erhebt, so müssen wir uns dennoch mit Redfield den ganzen wirbelnden Sturmkörper wegen seiner grossen horizontalen Ausdehnung als eine sehr flache Scheibe vorstellen. Wir halten es sogar für sehr wohl möglich, dass die an der Erdoberfläche hinsausenden Luftmassen, bevor sie in ihrer spiralförmigen Bewegung dem Centrum nahe genug gekommen sind, um aufzusteigen, manchmal nur eine Höhe von 2000 Metern oder noch weniger haben. Sie wirbeln um die

Cyclonen-Axe tief unterhalb der grossen Wolkenschicht, die sie ja erst durchbrechen und zugleich erneuern können, wenn sie sich genügend ausgedehnt haben, um unter Verdichtung ihres Wasserdampfes emporzusteigen. Jene Wolkenschicht gehört mit zum Wirbelsturm, aber sie braucht ja deshalb durchaus nicht die Bewegung des Sturmwindes unten zu theilen. In der That sehen wir oft genug starke Winde über einander hinströmen, die, nach den Wolken zu schliessen, in vertikalem Sinne nur geringe Ausdehnung haben; sie lassen sich am besten mit sehr dünnen, aber breiten Bändern vergleichen, die über einander hingleiten. Selbst der Nordpassat hat bei Teneriffa nur eine Höhe von 9000 Fuss, und über ihm auf dem Pik weht ein so heftiger West- oder Südwest, dass Humboldt am Rande des Kraters kaum vermochte auf den Füssen zu stehen.

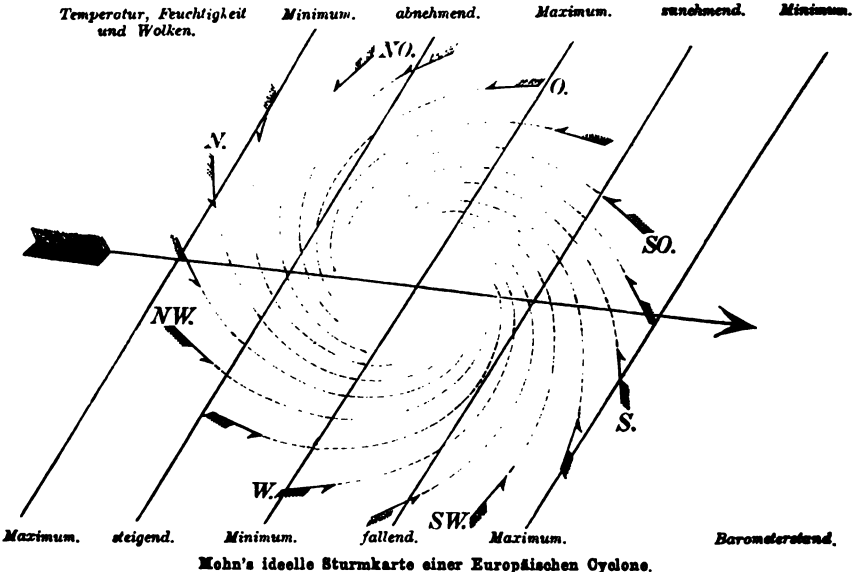
Die fortschreitende Bewegung zunächst der Europäischen Wirbelstürme hat Mohn [39]) so befriedigend erklärt, dass wir wenig hinzuzusetzen wissen. Mohn theilt, wie umstehende Figur andeutet, seine nahezu gegen Osten fortschreitenden Cyclonen durch einen von SSW. nach NNO. gehenden Durchmesser in eine vordere und eine hintere Hälfte, zwischen denen sich durch Beobachtung folgende Unterschiede herausgestellt haben:

Auf der vorderen Hälfte	Auf der hinteren Hälfte
ist der Wind O., SO., S., SW. bis W., d. h. er hat eine südliche Componente;	ist der Wind W., NW., N., NO. und O., d. h. er hat eine nördliche Componente;
das Barometer ist im Sinken;	das Barometer ist im Steigen;
die Temperatur nimmt zu;	die Temperatur nimmt ab;
die Spannung des atmosphärischen Wasserdampfes wird grösser;	die Spannung des atmosphärischen Wasserdampfes wird kleiner;
die Wolkenmenge ist im Wachsen;	die Wolkenmenge ist im Abnehmen;
Regen oder Schnee stark und anhaltend.	Regen oder Schnee schwach und stossweise.

Alle diese Verhältnisse hat Mohn auf seiner unten folgenden Sturmkarte verzeichnet.

Auf der östlichen, vorderen Hälfte befindet sich also die aus Süden heranströmende Luft, welche schon wegen ihrer höheren Temperatur eher aufsteigen wird, als die nördliche Luft der hinteren Hälfte. Diese Südluft enthält zudem mehr Wasserdämpfe als die aus Norden kommende, sie wird deshalb rascher emporsteigen und stärkere Wolken bilden als diese, und an ihrer Seite

muss auch der Regen in grösserer Menge niederfallen. Eben deshalb aber schreitet die Stelle des tiefsten Barometerstandes nach dieser Seite hin, und damit zugleich der ganze Wirbelsturm, weil



Mohn's ideelle Sturmkarte einer Europäischen Cyclone.

eben gegen jene Stelle die Luft von allen Seiten in Spiralwindungen heranströmt. Wir erinnern bei dieser Gelegenheit an Redfield's und Thom's Bemerkung (pag. 96), dass der Ort des tiefsten Barometerstandes in den Cyclonen etwas nach vorn liegt.

Mohn lässt die Spiralen seiner Sturmkarte nur etwa eine Viertelwindung machen; offenbar aber muss das Centrum nach derselben Seite hin fortrücken, wenn die zuströmende Luft, bevor sie aufsteigt, fünf, neun oder dreizehn Viertelwindungen um das Centrum macht. Denn die Cyclone muss sich immer nach derjenigen Seite hinbewegen, an welcher längere Zeit hindurch die wärmste und feuchteste Luft in ihr emporsteigt und an welcher demnach auch die dichtesten Wolken sich bilden und am meisten Regen niederstürzt. Mit dieser Bemerkung stimmen nun ganz vortrefflich die Beobachtungen überein, welche in Bezug auf den Regen bei den Wirbelstürmen des Atlantischen und des südlichen Indischen Oceans gemacht sind. Redfield sagt bereits in seiner ersten Arbeit über die Küstenstürme der Vereinigten Staaten: „Regen oder der

Niederschlag von Dampf in irgend einer Form scheint sich ganz auf die nordöstliche oder vorrückende Hälfte der rotirenden Masse zu beschränken, obwohl ihre äusseren oder Grenz-Parthien oft wolkenfrei sind; hingegen zeigt die südwestliche Hälfte meistens klares Wetter." Fünfzehn Jahre später[35 m]), nachdem seine bedeutendsten Arbeiten bereits vollendet waren, erwähnt er gelegentlich, dass an der hinteren oder trockenen Seite des Sturmes die ihn überdeckende Wolkenschicht oft verschwinde. Eines der allgemeinen Resultate ferner, zu welchen Thom[38]) durch das Studium der Süd-Indischen Cyclonen gelangte, ist das folgende: „Condensation von Wasserdämpfen scheint zugleich mit der Wirbelbewegung der Stürme stattzufinden; sie erstreckt sich über eine gewisse Strecke an jeder Seite des Centrums, wird aber viel weiter an der vorderen als an der hinteren Seite des Wirbels wahrgenommen." Es wäre sehr zu wünschen, dass die Aufmerksamkeit der Seeleute sich diesem wichtigen Punkte mehr zuwendete.

Da die Windrichtung in Wirbelstürmen meistens nur um einige Grade von den Tangenten der um das Centrum beschriebenen Kreise abweicht, so wird im Allgemeinen, zumal in ausgedehnten Cyclonen, die Luft wohl mehr als einen Umgang machen, ehe sie aufzusteigen beginnt. Auch die Bahnen, welche die Brig Charles Heddle und andere Schiffe um die Wirbelcentren beschrieben haben, indem sie vor dem Winde liefen, führen zu diesem Schluss. Aber unter sonst gleichen Verhältnissen wird diejenige Seite der Orkane, an welcher der wärmste und feuchteste Theil der unten zuströmenden Luft aufzusteigen beginnt, doch immer dieselbe sein, und so erklärt es sich, dass in den meisten Meeren die Wirbelstürme so regelmässige Kurse einschlagen. Was insbesondere die Westindischen Orkane anlangt, so halten wir es für möglich, dass der Golfstrom das Umbiegen derselben nach NO. veranlasst. Denn bevor sie denselben erreichen, erhalten sie den wärmsten und feuchtesten Theil ihrer Luft jedenfalls aus Süden, und derselbe steigt, um ihr Centrum herumwirbelnd, in ihrer nordwestlichen Hälfte auf; wenn sie aber ganz in der Nähe des Golfstromes angelangt sind, so dürfte dieser ihnen von Westen her noch feuchtere Luft zusenden als der Süden, und diese wird dann schon auf ihrer nordöstlichen Seite emporsteigen. Gerade in Betreff dieses Umbiegens der Orkanbahnen sind übrigens, zumal in anderen Meeren, weitere Forschungen noch sehr zu wünschen. Namentlich fragt es sich, welchen Einfluss die Nähe des Landes und

die vorherrschenden Winde, vor Allen die Passate, auf die Bahnen der Orkane ausüben.

Wir glauben jetzt alle wichtigeren Fragen, zu welchen die Wirbelstürme Anlass geben, genügend beantwortet zu haben bis auf die eine: „Warum sind die Cyclonen gerade in der heissen Zone so überaus heftig, und warum nehmen sie an Heftigkeit ab und an Umfang zu, je mehr sie sich den kalten Zonen nähern?“ Der Grund dieser Erscheinung liegt wohl darin, dass über den Meeren der heissen Zone die Luft wärmer ist und deshalb grössere Mengen Wasserdampf in sich aufnehmen kann, wogegen über den Oceanen der gemässigten Zonen die kühlere Luft trotz ihres gegeringeren Dampfgehaltes gewöhnlich ihrem Sättigungspunkte viel näher ist. Je mehr Wasserdampf in dem aufwärtssteigenden Luftstrome sich befindet, desto mehr Wärme wird bei seiner Verdichtung frei, und desto heftiger wird die Luft emporgerissen; die nachdringende untere Luft aber muss, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, diesem Strome einfach folgen. Gelangt aber die Cyclone in die gemässigte Zone und fliesst ihr unten nahezu gesättigte Luft zu, so wird diese, schon ehe sie in die Gegend des tiefsten Barometerstandes gelangt, sich soweit wegen Abnahme des Luftdruckes ausgedehnt haben, dass ihr Wasserdampf sich zu verdichten und sie in Folge dessen aufzusteigen beginnt; die Kraft der Dampfeswärme, welche sie emportreibt, ist weniger gross, aber wird früher wirksam, als in der heissen Zone. Und so kommt es, dass der Wirbelsturm in höheren Breiten an Ausdehnung gewinnt, an localer Gewalt aber abnimmt.

So ist es uns denn gelungen, die kreisende und centrale Bewegung des Sturmwindes, das Fallen des Barometers, die Wolken und heftigen Regengüsse, die zunehmende Gewalt im Innern, dann den windstillen Centralraum, die Böen und Windstösse, den Drehungssinn des Wirbels, endlich selbst die fortschreitende Bewegung und die zunehmende Grösse, kurz alle wichtigen Erscheinungen, die ein Wirbelsturm bietet, in einen ursächlichen Zusammenhang mit dem aufsteigenden Luftstrome zu bringen; sogar die Jahreszeiten, in denen die Cyclonen vorzugsweise auftreten, finden dadurch ihre Erklärung. Und, was uns nicht das Geringste zu sein scheint. diese unsere Auffassung der Wirbelstürme macht es nicht nothwendig, zwischen Cyclonen, Wettersäulen und Wirbelwinden eine unnatürliche Schranke aufzustellen, sondern fasst viel-

mehr unter einen Gesichtspunkt zusammen, was naturgemäss zusammengehört. Sie bietet endlich hinreichenden Spielraum, um auch einer genaueren Kenntniss der Wirbelstürme, als wir sie jetzt besitzen, vollkommen gerecht zu werden. Wenn sich z. B. durch feinere Beobachtungen herausstellen sollte, dass die Cyclonen nach aussen hin nicht durch Kreise, sondern durch eiförmige oder elliptische Linien begrenzt sind, so wird sich Dieses etwa durch die Einwirkung der aussen vorherrschenden Winde leicht erklären lassen, ohne dass wir an unseren übrigen Vorstellungen das Geringste zu ändern brauchen. Ebenso dürfen wir mit Bestimmtheit erwarten, dass wir uns über die vielen Verschiedenheiten und sogar Regelwidrigkeiten, welche die Sturmbahnen unserer Karten darbieten, vollkommen Rechenschaft werden geben können, sobald erst unsere sehr unvollkommenen Kenntnisse über die Wind- und Feuchtigkeitsverhältnisse der betreffenden Meere genügend sich erweitert haben.

Siebenter Abschnitt.

Die älteren Erklärungen der Wirbelstürme.

Es wäre rücksichtslos und undankbar zugleich, wenn wir gegenüber den soeben von uns entwickelten Ansichten über die Entstehung und Fortdauer der Cyclonen gänzlich die älteren, bisher vorzugsweise verbreiteten Ansichten ignoriren wollten. Denn dieselben sind nicht nur mit den Namen der bedeutendsten Autoren unserer Wissenschaft innig verknüpft, sondern haben auch das Studium der Wirbelstürme bedeutend gefördert durch Anregung wichtiger Fragen. Nicht leicht ist uns der Entschluss geworden, den Ansichten von Autoritäten wie Dove, Redfield, Thom, Piddington, Espy unsere abweichenden Ansichten gegenüber zu stellen, und nur unsere langjährige, auf sorgfältige Prüfung der Thatsachen und vielfaches Nachdenken gegründete Ueberzeugung, dass jene Männer die verwickelten Erscheinungen der Wirbelstürme nicht in befriedigender Weise erklären, konnte uns dazu veranlassen. Wir würden aber der Wissenschaft einen schlechten Dienst erweisen, wenn wir unsere Bedenken gegen jene älteren Ansichten zurückhalten wollten; denn gerade aus dem offenen, ehrlichen Kampfe der Meinungen pflegt die gesuchte Wahrheit hervorzugehen. Bei Besprechung der älteren Theorien werden wir auch Gelegenheit finden, die Wirbelstürme nach einigen Richtungen hin noch genauer als bisher kennen zu lernen.

Reid enthält sich absichtlich aller Betrachtungen über die Ursachen der Stürme; das Ziel, welches er sich gesteckt hat, geht nicht hinaus über die Erforschung der Regeln, welchen die Cyclonen gehorchen. Auch Redfield bleibt auf diesem Standpunkt stehen; er betont, dass die zu lösende Frage für ihn nicht sei

„Wie werden Stürme erzeugt?", sondern vielmehr „Was sind Stürme?" und nur gelegentlich deutet er, von seinen Gegnern gedrängt, seine Meinungen über die Ursachen der Orkane an, indem er sich wesentlich Dove anschliesst. Ueber die Ansichten eines dieser Gegner, Espy's, haben wir schon im zweiten Abschnitte gesprochen; gleich uns hält Espy den aufsteigenden Luftstrom für das Ursprüngliche in den Wirbelstürmen, und seine Theorie gipfelt in dem Satze: „Alle Stürme werden durch Dampfkraft erzeugt". Sehr zu bedauern ist, dass Espy die Wirbelbewegung in den Orkanen hartnäckig leugnet, indem er dieselben für centripetale Stürme erklärt. Er wurde hiezu durch das Studium der Tornados verleitet, dann aber auch durch seine eigenen zahlreichen Sturmkarten, die in viel zu kleinem Massstabe und mit allzugrossen, die Auffassung verwirrenden Windpfeilen gezeichnet sind. Sonst enthält Espy's Theorie viel Beachtenswerthes und Richtiges, und wir konnten uns ihr in mehreren Punkten anschliessen.

Piddington neigt sich entschieden den Ansichten Peltier's zu, wonach die Wettersäulen und ebenso die Stürme durch Electricität hervorgerufen werden, doch stellt er seine Meinungen mit einer auffallenden Unsicherheit und meistens nur in Form von Vermuthungen auf; auch die Fragezeichen in seinen hier folgenden Sätzen rühren von ihm selbst her. Er sagt u. A.: „Es scheint mir, dass ein einfacher, flacher, spiralförmiger Strom electrischer Flüssigkeit, der oben in einer breiten Scheibe (disk) erzeugt wird und zur Erdoberfläche niedersteigt, den Beginn einer Cyclone völlig und einfach erklären mag (?), und dass sein allmäliges Fortschreiten nach der Richtung, welche die Gesetze der ihn in den oberen Regionen erzeugenden Kräfte ihm ertheilen, ebenso einfach den Grund für ihre Fortdauer und ihre fortschreitende Bewegung ergeben wird (?), sowie die Erschöpfung der Kräfte den Grund für ihr Aufhören (?)... Wenn wir gefragt werden, warum ein electrischer Strom Stürme in Form von Cyclonen erzeugen soll, so müssen wir erwiedern, dass wir bis jetzt nur voraussetzen, es sei so, und dass wir in dieser wie in jeder anderen Theorie auf weitere Thatsachen warten, die uns auf eine neue Theorie leiten oder jene bestätigen." Auch an einer anderen Stelle geht er von der Voraussetzung aus, „die Cyclone sei ein electrisches Meteor, gebildet aus einem oder vielen, dichten und nahezu horizontalen, doch schwach spiralförmigen Strömen electrischen Fluidums, welche so von den höheren Regionen nieder-

steigen und dabei in der ganzen durchströmten Luft, ohne jedoch diese selbe Luft mitzureissen, Strömungen hervorrufen." Dabei verweist er auf Peltier's Versuche, durch welche in Harzdämpfen und in Wasser solche rotirende Ströme erzeugt seien.

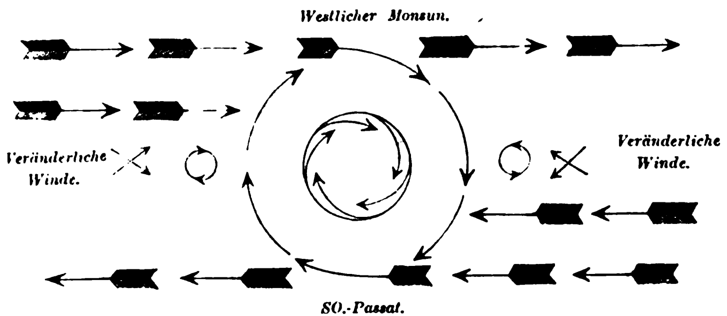
Wir können auf diese Vermuthungen nicht näher eingehen, zumal da Piddington uns ganz die Gründe verschweigt, weshalb jene electrischen Ströme auf der nördlichen Erdhälfte den entgegengesetzten Drehungssinn in den Cyclonen hervorrufen wie auf der südlichen. Zu der Vorstellung, dass die Cyclonen in der Wolkenregion sich bilden, scheint Piddington namentlich durch den Bengalischen Wirbelsturm vom October 1848 geführt zu sein. Zwischen den Ost- und Westküsten der Bai von Bengalen und nach Süden hin befanden sich am 10. und 11. October Schiffe in solcher Lage, dass, wenn damals eine Cyclone vorhanden gewesen wäre, wir die Beweise davon besitzen müssten; und doch hatte am 12. October mitten in der Bai ein richtiger Wirbelsturm von 300 Seemeilen Durchmesser begonnen, in dessen 50 Seemeilen breitem Centralraume drei Schiffe bei leichten, veränderlichen Winden sich befanden; derselbe wurde bis Point Palmiras hin verzeichnet, und in ihm verschwanden sieben Schiffe, während vierzehn andere ganz oder theilweise ihre Masten verloren. Diese Cyclone hatte übrigens, ehe sie auf die Bai sich niederliess, Land überstrichen, vielleicht die Adaman-Inseln oder Cap Negrais, denn sie führte in ihrem windstillen Centrum sehr viele Landvögel, Insekten u. s. w. mit sich. Piddington hält es deshalb für möglich, dass sie in dem Chinesischen Meere entstanden sei, wo am 9. eine heftige Cyclone tobte und das Englische Kriegsschiff Childers auf die Pratas-Sandbänke trieb; in diesem Falle war sie durch das Hochland von Cochinchina emporgehoben worden.

Thom spricht seine Ansicht über die Kräfte, welche die Wirbelstürme des Südlichen Indischen Oceans in Wirksamkeit erhalten, mit den Worten aus: „Die ununterbrochene Rotation und die fortschreitende Bewegung sind dem Einflusse des SO.-Passates und des NW.-Monsuns beizumessen, welche in entgegengesetzten Richtungen an den gegenüberliegenden Seiten der in den Sturm verwickelten Luftmasse wehen." Er hebt hervor, dass der Passat trocken, der Monsun dagegen feucht ist, und dass zwischen beiden in der Gegend des 10. bis 12. Breitengrades ein bis zu 120 Seemeilen breiter Zwischenraum von veränderlichen und leichten Winden oder Windstillen liege, der sich durch un-

beständiges Wetter auszeichne. In diesem Zwischenraume glaubt er den Ursprung seiner grossen fortschreitenden Orkane suchen zu müssen. Jene beiden regelmässigen Windströmungen, in deren Gebiete die 400 bis 600 Seemeilen breiten Wirbelstürme um je 200 Meilen seitlich eingreifen, geben dann der kreisenden Luftmasse auf beiden Seiten immer neuen Antrieb. „Selbst wenn das Nebeneinanderliegen von zwei Winden nicht erforderlich ist", sagt Thom, „um eine Drehbewegung in der Atmosphäre zu erzeugen, so scheint es doch durchaus nöthig für die Fortdauer einer solchen. Keine andere Ursache scheint ausreichend zur Erklärung der 15 oder 20 Tage langen Dauer von Orkanen, die zugleich über eine Entfernung von 3000 Seemeilen hinschreiten."

Wir glauben diese sehr beachtenswerthen Ansichten Thom's nicht besser erläutern zu können, als durch seine eigene zu diesem Behuf entworfene Skizze.

Thom's Darstellung eines Wirbelsturms des südlichen Indischen Oceans.



Thom nimmt ferner ähnlich wie auch Dove und Redfield an, dass die wirbelnde Luft oben durch Centrifugalkraft nach aussen geschleudert werde, und erklärt dadurch den Fall des Barometers im Innern der Cyclonen; zugleich entstehe in Folge dessen ein Luftstrom nach aufwärts, der durch die dichten, von unten mit schraubenförmiger Bewegung hereinstürzenden Luftmassen an der Meeresoberfläche genährt werde. Die übrigen bemerkenswerthen Erscheinungen scheinen ihm eine Folge der plötzlichen und vollständigen Mischung der zwei entgegengesetzten Winde zu sein, welche sich rücksichtlich der Wärme, Feuchtigkeit und Electricität in ganz verschiedenen Verhältnissen befinden.

Auch bei den Orkanen aus den sechziger Jahren, deren Bahnen ich in Piddington's Karte (IV) habe eintragen lassen,

herrschte so regelmässig der NW.-Monsun im Norden und der SO.-Passat im Süden ihres Ursprunges, dass auch Meldrum [43]) die rotirenden Stürme des südlichen Indischen Oceans für ein Erzeugniss des Conflictes dieser zwei entgegengesetzten Winde erklärt. Aber schon gelegentlich des Orkans vom 12. bis 19. Mai 1863 musste er diese Erklärung zurücknehmen; denn jener Sturm unterschied sich von allen früheren dadurch, dass während seiner ganzen Dauer nicht der NW-., sondern der SW.-Monsun in der Bai von Bengalen herrschte. Meldrum kommt deshalb zu dem Schlusse, „der NW.-Monsun gehöre nicht wesentlich zur Bildung der dortigen Cyclonen.“

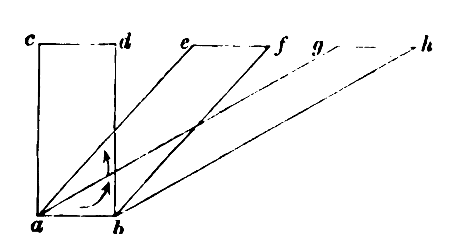
Es scheint uns durchaus nicht unmöglich, dass zwei neben einander hinfliessende Luftströme an ihrer gemeinschaftlichen Grenze solche Wirbel erzeugen; sehen wir doch häufig Wasserwirbel auf ähnliche Weise entstehen. Aber unbegreiflich ist es uns, wie der NW.-Monsun und der SO.-Passat, deren Geschwindigkeit Thom zu 30 Seemeilen pr. St. angiebt, ohne Mitwirkung anderweitiger Kräfte der zwischen ihnen wirbelnden Luft eine Orkan-Geschwindigkeit von 100 Seemeilen ertheilen können. Und ausserdem erhebt Piddington gegen Thom den schweren Einwurf, dass ja seine Orkane sich mehrere hundert Seemeilen weit quer durch den Passat einen Weg bahnen. „Gesetzt, eine Cyclone setze sich in 10⁰ S. Br. und 90⁰ O. L. in Bewegung, so müsste der NW.-Monsun seinen Weg querdurch über 10 bis 15 Längengrade hin sich erzwingen, um noch auf dieselbe Weise zu wirken, wenn die Cyclone Mauritius erreicht; und zudem müsste er für sich selbst eine neue Art von Bewegung, seitwärts, erzeugen, um der Cyclone auf ihrer Bahn zu folgen.“

Vollständig widerlegt wird aber Thom's Ansicht durch Piddington's Bemerkung, dass die Passate und Monsune unendlich schwanken zwischen den Strichen, nach denen sie benannt werden, und dass besonders in der Bai von Bengalen und den Chinesischen Meeren der eine dieser Winde sich bald nördlich, bald südlich von dem anderen befinde. „Ist der SW.-Monsun ein WSW.licher und der NO.-Monsun ein ONO.licher im Norden desselben, so erhalten wir für die nördliche Erdhälfte eine im richtigen Sinne ↺ sich drehende Cyclone; wenn jedoch der NO.-Monsun ein NNO.licher ist, der an der Ostseite der Bai weht, und der SW.-Monsun ein SSW.licher, der an der Westseite der Bai am stärksten bläst, so wird die Cyclone entgegengesetzt ↻

sich drehen.“ Letzteres kommt aber nördlich vom Aequator niemals vor, und Thom's Ansicht muss deshalb verworfen werden.

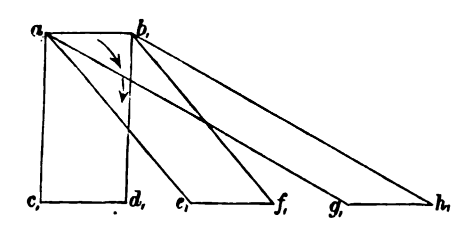
Wir glauben, der Grund, weshalb die Südindischen Wirbelstürme vorzugsweise zwischen Passat und Monsun entstehen, ist in dem Umstande zu suchen, dass daselbst die Luft ruhiger ist als innerhalb jener Windströme, und dass sie deshalb unten sich stärker erwärmt und mehr Wasserdämpfe in sich aufnimmt, als die untersten Luftmassen der beiden Monsune. Auf dieselbe Weise ist auch das „Ausbrechen des Monsun“ zu erklären, jene Stürme, welche in den Ostindischen Gewässern nicht selten eintreten, während der eine Monsun in den anderen übergeht. Die Verhältnisse, unter denen starke aufsteigende Luftströme sich bilden können, treten eben in ruhiger Luft viel leichter ein als in rasch fortströmender Luft, deren unterste Schichten sich oft erneuern. Auch die Wirbelwinde und Wettersäulen kommen ja, wie die Erfahrung lehrt, am häufigsten, ja beinahe ausschliesslich in ruhiger, stagnirender Luft vor.

Die Dove'schen Vorstellungen über die Entstehung der Wirbelstürme, zu denen wir jetzt übergehen wollen, geben wir am besten in Dove's eigenen, kurzen Worten[34b]) wieder. Dieselben lauten:



„Bezeichnet *ab* eine Reihe materieller Punkte, welche dem Aequator parallel (und nördlich von demselben) durch irgend einen Impuls in der Richtung *ac* nach Nord hin in Bewegung gesetzt werden, so würden diese Punkte, weil sie von grösseren Parallelkreisen zu kleineren gelangen, nach *gh* hin sich bewegen, wenn der Raum *dbh* leer wäre. Befindet sich aber in diesem Raume unbewegte Luft, so werden die Theile in *b* bei ihrer Bewegung nach *d* hin, im Raume *dbh* immer mit Lufttheilchen von geringerer Rotationsgeschwindigkeit in Berührung kommen, also ihre Geschwindigkeit nach Ost hin vermindert werden. Der Punkt *b* wird also statt nach *h* nach *f* hin sich bewegen. Die Theile in *a* haben hingegen neben sich, auf der Seite nach *b* hin, Theile ursprünglich gleicher Rotationsgeschwindigkeit, sie bewegen sich also wie im leeren Raume, d. h. nach *g* hin. Ist demnach *ab* eine von Süd nach Nord getriebene Luftmasse, so wird die Rich-

tung des Sturmes auf der Ostseite desselben weit mehr Süd sein als auf der Westseite, wo er mehr West ist, und es wird daher eine Tendenz zu einem Wirbel im Sinne S. O. N. W. entstehen. In der Passatzone aber ist der Raum *dbh* mit Luft erfüllt, welche von NO. nach SW. fliesst. Der Widerstand wird also hier am grössten sein, die Luft in *b* also so in ihrer Tendenz nach Osten gehemmt werden können, dass sie ihre Richtung nach *d* hin unverändert beibehält, während *a* nach *g* strebt. Der Sturm wird daher hier am heftigsten wirbeln, aber geradlinig mit unveränderter Breite fortgehen. Sowie aber derselbe in die gemässigte Zone gelangt, findet sich im Raume *dbh* Luft, welche sich bereits von SW. nach NO. bewegt. Der Widerstand, welchen die Theilchen in *b* bisher fanden, wird daher plötzlich bedeutend vermindert, oder ganz aufgehoben, d. h. die Richtung *bd* verändert sich nun schnell in die Richtung *bh*, der Sturm biegt also plötzlich fast rechtwinklig um, während er an Breite schnell zunimmt, da der bisher zwischen der Bewegung der Punkte in *a* und der Punkte in *b* vorhandene Unterschied nun aufhört. Die Erscheinungen der südlichen Halbkugel ergeben sich eben so unmittelbar; der Wirbel geschieht dort im entgegengesetzten Sinne, die Richtungsänderung an der Grenze der Tropen ist analog."

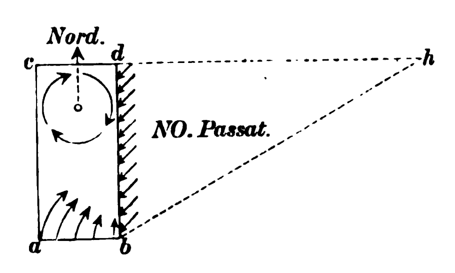


„Die hier gegebene Ableitung der wirbelnden Bewegung findet natürlich nur ihre Anwendung, wenn grössere Luftmassen von einer bestimmten Ausdehnung in der Breite in Bewegung gesetzt werden; kleinere Wirbelwinde, Wasserhosen etc. werden anderen Ursachen ihre Entstehung verdanken, und daher in Beziehung auf die Erdhälften wahrscheinlich weder eine Gesetzmässigkeit noch einen bestimmten Gegensatz zeigen... Die Beobachtungen von Akin in Greenbush bei Albany, von Dwight in Stockbridge in Massachusetts und von Dr. Cowles in Amherst über die bei Waldbränden und windstiller Luft entstehenden heftigen Wirbelwinde beweisen, dass ein sehr lebhafter *Courant ascendant* ebenfalls eine wirbelnde Bewegung zu erzeugen vermag."

„Da die Westindischen Orkane an der inneren Grenze der Passate entstehen, da, wo in der sogenannten Gegend der Wind-

stillen die Luft aufsteigt, welche dann über dem unteren Passat in entgegengesetzter Richtung abfliesst, so sind es wahrscheinlich Theile dieses oberen Stromes, welche in den unteren eindringend die erste Veranlassung zu diesen Stürmen werden. Warum aber der Sturm anfänglich von SO. nach NW. fortschreitet, möchte dadurch erklärt werden, dass nach der gegebenen theoretischen Ableitung diese Richtung eben zur Entstehung einer wirbelnden Bewegung am günstigsten ist. Geschieht nämlich, was auch vorkommen mag, der erste Impuls von SW. nach NO., so wird der entgegenwehende Nordostpassat alle Punkte der fortrückenden Linie gleichmässig hemmen, also keine Tendenz zum Wirbel entstehen.“

Wenn jemals im Atlantischen Ocean Luftmassen so auf einander treffen, wie Dove hier voraussetzt, und dadurch Wirbel hervorrufen, so müssen nach unserer festen Ueberzeugung diese Wirbel allemal in entgegengesetztem Sinne sich drehen, als Dove angiebt. Nach seiner eigenen Annahme soll im Raume *dbh* ein NO.-Passat herrschen, welcher die von *b* aus, nicht aber die von *a* aus nach Norden bewegte Luft hindert, allmälig in Folge der Erdrotation auch nach Osten weiter zu rücken. Unbedingt aber wird dieser NO.-Passat zugleich die nach Norden gerichtete Bewegung der von *b* kommenden Luft verzögern, weil er selbst nach dem Süden und Westen hin gerichtet ist; und eine solche Verzögerung müsste selbst dann eintreten, wenn im Raume *dbh* sich unbewegte Luft befände. Die aus *a* kommende Luft muss deshalb, wie unsere Figur andeutet, nach Norden und allmälig auch nach Osten hin der von *b* kommenden voraneilen, bis sie ebenfalls auf den NO.-Passat trifft und nun ihrerseits in ihrer Bewegung nach Norden verzögert wird. Wir erhalten demnach einen mit der Sonne kreisenden und nach Norden fortschreitenden Wirbel, während doch alle Cyclonen gegen die Sonne sich drehen. Schon wegen dieses inneren Widerspruches konnte uns Dove's Erklärung der Wirbelstürme nicht befriedigen.



Dove sucht in der weiteren Auseinandersetzung seiner Wirbeltheorie nachzuweisen, dass in den höheren Regionen der tropischen

Atmosphäre die Luft nicht regelmässig stets von SW. nach NO. fliesst, sondern dass diese Regelmässigkeit durch von O. nach W. gerichtete Ströme unterbrochen werde. Er beruft sich dabei auf die Thatsache, dass beim Ausbruche des Vulkans Coseguina am 20. Januar 1835 vulkanische Asche im oberen Passat nicht nur bis Kingston in Jamaica, also 800 Engl. Meilen gegen die Richtung des unteren Passates geführt wurde, sondern auch 700 Engl. Meilen westlich auf das Schiff Conway im Stillen Ocean fiel; auch erinnert er an den häufigen Fall Africanischer Staubmassen in dem nördlichen Theile der Atlantischen Passatzone. Aber er bleibt den für das Folgende schwer zu entbehrenden Beweis schuldig, dass jene Staub- und Aschenmassen nicht oberhalb oder unterhalb des oberen Passates bis in die Nähe der Gegenden gelangten, wo sie niederstürzten, sondern von einem Luftstrome weiter getragen wurden, welcher dem oberen Passat den Weg geradezu versperrte. — Dove fährt fort:

„Denken wir uns nun, dass die über Asien und Afrika aufsteigende Luft in der Höhe der Atmosphäre seitlich abfliesst... so wird sie dem oberen Passat seine Rückkehr nach den Wendekreisen versperren und ihn zwingen, in den unteren einzudringen, und die Stelle dieses Eindringens wird fortschreiten in dem Masse, als der obere hemmende Wind von O. nach W. fortschreitet. Aus einem von O. nach W. gerichteten, in einen von SW. nach NO. fliessenden Strom einfallenden Winde muss aber nothwendig eine wirbelnde Bewegung, entgegengesetzt der Bewegung eines Uhrzeigers, entstehen. *) Der im unteren Passat von SO. nach NW. fortschreitende Wirbel ist demnach das nach einander an verschiedenen Stellen erfolgende Zusammentreffen zweier rechtwinklig auf einander fortgetriebener Luftmassen, und dies die primäre Ursache der Drehung, deren weiterer Verlauf dann, wie früher erörtert wurde, erfolgen wird. Hierbei kann der entstehende Wirbel, als eine sich an verschiedenen Orten wiederholende Folge des Zusammentreffens, seinen Durchmesser möglicher Weise längere Zeit beibehalten und in besonderen Fällen auch sogar verkleinern, wenn auch die Erweiterung überwiegend eintreten wird. Die Westindischen Inseln sind daher das Grenzgebiet zweier entgegenge-

*) Auch in diesem Falle theilen wir Dove's Ansicht nicht. Wenn dabei eine Wirbelbewegung eintritt, so muss ihr Drehungssinn derselbe sein, wie derjenige eines Uhrzeigers (↻).

setzter Witterungssysteme, bezeichnet durch die starke periodische Aenderung des Luftdruckes in dem einen und das Nichtvorhandensein derselben in dem andern, und deswegen vorzugsweise diesen Verwüstungen ausgesetzt."

„Uebrigens will ich keineswegs behaupten, dass alle West-india Hurricanes ihren ersten Entstehungsgrund in einem Eindringen des oberen zurückkehrenden Passats in den unteren haben; denn die mechanische Ableitung der Drehung findet ihre gleiche Gültigkeit unter der Annahme, dass ein weit über den Aequator in die nördliche Erdhälfte übergreifender Theil des Südostpassats die Veranlassung zum Wirbelsturme gebe."

Den schon geäusserten principiellen Bedenken gegen diese Dove'sche Wirbeltheorie der Orkane müssen wir noch weitere hinzufügen. Dove trennt die Wirbelwinde und Wettersäulen von den Wirbelstürmen, während sie doch von diesen nur durch die Grösse verschieden sind, und noch Niemand angeben konnte, wo zwischen grossen Wettersäulen oder Tornados und den eigentlichen Wirbelstürmen die Grenze zu ziehen ist. Dann setzt er Verhältnisse in der Atmosphäre voraus, die vielleicht in Jahrhunderten kaum einmal, und jedenfalls nicht auf allen Meeren der heissen und der gemässigten Zonen (denn auf allen diesen Meeren sind Cyclonen wahrgenommen worden) in der angenommenen Weise eintreten. Wir können nimmermehr glauben, dass die von Africa nach Westen abfliessende Luft im Stande sein soll, während ihres Vorrückens vom grünen Vorgebirge bis an die Nordamericanischen Küsten, d. h. auf einem Wege von mehr als 3000 Seemeilen Länge, dem oberen Passat den Weg zu versperren und ihn immer von Neuem zum Eindringen in den unteren Passat zu zwingen. Warum sollte nicht ebenso leicht der obere Passat nach oben hin ausweichen, und warum verlegt er nicht der Africanischen Luft den Weg? Die Westindischen Orkane haben eine fortschreitende Bewegung von 14 bis 20 Engl. Meilen per Stunde, und mit derselben Geschwindigkeit schreitet nach Dove's Annahme der hemmende Wind von O. nach W. fort; der gehemmte obere Passat muss aber mindestens eine fünfmal so grosse Geschwindigkeit besitzen, wenn er einen Orkan erzeugen soll, in welchem der Sturmwind in jeder Stunde hundert und mehr Engl. Meilen zurücklegt. Wie kann aber ein mittelstarker Wind von 14 bis 20 Meilen Geschwindigkeit einem orkanartigen Sturmwind von 100 Meilen den Weg versperren?

Und sehen wir uns nach anderen Orkanen um, woher kann denn dort der hemmende östliche Windstrom kommen? Niemand wird annehmen wollen, dass die über Neuholland oder den Sunda-Inseln seitlich abströmende Luft stark genug sei, um 2000 Seemeilen westlicher dem oberen Passat den Weg zu verlegen und so die entsetzlichen Mauritius-Orkane hervorzurufen. Ausserdem scheint, wie schon Piddington geltend macht, jede Theorie, welche die Stürme aus der Wechselwirkung entgegengesetzter oder seitlich auf einander stossender Luftströme erklären will, zu viel zu beweisen. Denn sollte man nicht hiernach glauben, dass in den Ostindischen Gewässern wenigstens während der sechs Monate, in denen ein Monsun die Passatwinde kreuzt oder ihnen entgegengesetzt ist, eine beständige Aufeinanderfolge von Cyclonen stattfinden müsse? Und doch ist notorisch, dass sie in den meisten Gegenden nur während gewisser Monate eintreten und manchmal während jener ganzen Jahreszeit keine einzige sich zeigt.

Das Umbiegen der Westindischen Orkane nach NO. hin, welches bei ihrem Eintritt in die gemässigte Zone stattfindet, erklärt Dove durch das Aufhören des Widerstandes, den bis dahin der untere NO.-Passat einer solchen Bewegung entgegensetzte, und ebendaher soll auch die (übrigens durchaus nicht so „plötzliche") Erweiterung des Wirbels rühren. Die ersten Ursachen des Orkanes treten also von jener Biegungsstelle an ausser Wirksamkeit. Auf unserer Karte II sind nun aber viele Stürme verzeichnet, die Hunderte, und einzelne, die mehrere tausend Seemeilen noch hinter jener Umbiegung zurückgelegt haben. Ist es wohl denkbar, dass sie diesen ungeheuren Weg, zu welchem sie fünf bis sechs Tage gebrauchten, unter beständiger Arbeitsleistung von mehreren hundert Millionen Pferdestärken und indem sie immer neue, colossale Luftmassen in ihren Strudel hineinzogen, durchmessen konnten, ohne irgend welche Erneuerung ihrer lebendigen Kraft? Ein Wirbelsturm gleicht ja nicht einem soliden Kreisel, der über den Boden hintanzt und bei seiner Bewegung nur einen geringen Luftwiderstand und die unbedeutende Reibung seiner Spitze zu überwinden hat. Eine Cyclone besteht vielmehr aus Luft, die nach allen Seiten davonfliegen kann und auch bei heftiger Rotationsbewegung davonfliegen muss, wenn keine äussere Kraft sie zurückhält oder erneuert. Und der Raum, durch welchen eine solche Cyclone nach NO. hineilt, ist mit ebenso schwerer, wenn nicht noch schwererer Luft erfüllt, die desto grösseren Widerstand

leistet, je grösser die Cyclone selbst ist. Und wenn diese Luft auch in den Bereich der letzteren hineingezogen wird, so gehört doch dazu ein Aufwand von mechanischer Arbeit, den die Cyclone gewiss nicht aus ihrem, an der Biegungsstelle vorhandenen Vorrath von lebendiger Kraft zu bestreiten vermag.

Den Fall des Barometers im Innern eines Wirbelsturms erklärt Dove mit Redfield und Thom durch die Fliehkraft der rotirenden Luft und durch eine trichterförmige Erweiterung des Wirbels nach oben hin, welch letztere durch das Eingreifen des rotirenden Cylinders in den oberen Passat entstehen soll. Denselben Ursachen schreibt er als secundäres Phänomen ein Saugen in der Mitte des Wirbels zu. Seine Erklärung der mit allen Wirbelstürmen verbundenen heftigen Regengüsse ist in den folgenden Worten enthalten:

„Bei dem Fortschreiten des Wirbels haben wir bisher nicht auf den Widerstand Rücksicht genommen, welchen der Boden der bewegten Luft entgegensetzt. Dieser Widerstand wird, wie Redfield bemerkt, bewirken, dass der rotirende Cylinder sich in der Richtung seines Fortschreitens vorneigt. Der wirbelnde Sturm wird daher schon in der Höhe der Atmosphäre eintreten, ehe er unten wahrgenommen wird. Daher fällt das Barometer schon vorher, ehe der Sturm ausbricht, und es wird eben deswegen eine Anzeige desselben. Durch die schiefe Richtung der Axe werden aber fortwährend untere warme Luftschichten mit oberen kalten gemischt und dadurch heftige Niederschläge veranlasst werden, die, je stärker sie sind, mit desto gewaltsameren electrischen Explosionen verbunden sein werden. Die kalte Luft wird dabei aus der Wolke herabzustürzen scheinen, der Sturm daher die Form annehmen, welche die Griechen so bezeichnend Eknephias nannten."

Gegen diese Vorstellung erhob schon Hare[41c]) in der Meinung, es sei ein gerader rotirender Sturmcylinder mit schief stehender Axe gemeint, den Einwand, dass dann die Basis des Orkanes an dessen hinteren Hälfte sich von der Meeresfläche abheben werde; z. B. bei einer Cyclone von 360 Seem. Durchmesser, deren Axe sich nur um 1 bis 2 Grad nach vorne neige, würde der hintere Rand sich um 3 bis 6 Meilen heben, also bis zu einer Höhe, die nie von Wolken erreicht werde, und auch die von Redfield angenommene Höhe der Wirbelstürme weit überschreite. Redfield[35 1]) erklärt dagegen, die Sturmaxe könne nach vorne geneigt sein, ohne dass der Sturmwind aufhöre, in horizontalen

Schichten um sie zu kreisen: er stellt sich also den Sturmcylinder schief vor mit horizontaler Basis. Dove's Erklärung der heftigen Niederschläge in Orkanen aber ist damit der Boden entzogen worden: denn bei einer horizontalen Wirbelbewegung des Sturmwindes um eine geneigte Axe kann weder von einer Mischung der unteren warmen Luft mit der oberen kalten, noch von einem Herabstürzen der letzteren aus den Wolken die Rede sein. Redfield schreibt deshalb auch in seinen späteren Abhandlungen das Entstehen der Wolken einzig und allein dem in Schraubenwindungen erfolgenden Aufsteigen der unteren, warmen Luft zu.

Aber auch das Fallen des Barometers vor dem Eintritt des Orkans kann unmöglich in dem Vorneigen der Axe seinen Grund haben. Denn gesetzt auch, jene Neigung betrage 30 Grad, so wird der Sturmcylinder bei einer Höhe von 1 bis 10 Engl. Meilen nur um $^1/_2$ bis 5 Meilen, d. h. vielleicht um eine Viertelstunde in den höheren Luftregionen voreilen, was zur Erklärung des frühen Barometerfalles längst nicht ausreicht. Uebrigens hat das Barometer nicht blos an der vorderen, sondern an allen Seiten des sturmartigen Theiles von Cyclonen einen tieferen Stand, als ganz aussen; es zeigt nicht blos das Herankommen, sondern ebenso gut das nahe Vorbeigehen eines Wirbelsturmes an, und selbst wenn Schiffe eine Cyclone einholen, was schon oft vorgekommen ist, werden sie durch den zeitigen Fall des Barometers auf deren drohende Nähe aufmerksam gemacht.

Und dann ist uns überhaupt unwahrscheinlich, dass der Widerstand der Meeresoberfläche den unteren Theil eines Wirbelsturmes gerade in seiner fortschreitenden Bewegung so sehr verzögern soll. Denn die Geschwindigkeit dieses Fortschreitens ist ja höchstens derjenigen einer frischen oder bisweilen einer starken Briese gleich und ist manchmal sogar kleiner als die eines gewöhnlichen Fussgängers. Etwas Anderes freilich ist es mit dem pfeilschnellen Sturmwind im Orkan; denn dieser muss unten an der Meeresoberfläche den Widerstand riesenhafter Wellen überwinden, deren Gipfel er zu Schaum peitscht und in deren Thälern er sich fängt. Seine Geschwindigkeit wird gewiss an der Basis des Sturmkörpers wesentlich vermindert, wogegen er in den oberen Regionen ohne derartigen Widerstand forttoben kann. Eine nothwendige Folge dieser Abnahme der Windgeschwindigkeit ist die Verminderung der Fliehkraft unten an der Meeresoberfläche; und deshalb kann die Luft unten, dem äusseren Luftdruck nachgebend,

leichter in das Innere der Cyclone einströmen, als die Luft der höheren Regionen, die vielmehr, wie die Bewegung der fliegenden Sturmwolken beweist, durch die Centrifugalkraft und die Ausdehnung der aufsteigenden Luftmassen nach aussen hin fortgedrängt wird.

Dove thut im obigen Citate der kalten Luft Erwähnung, die im Orkane aus den Wolken herabzustürzen scheine. Wirklich kommen manchmal in Wirbelstürmen sehr kalte Windstösse vor, und Piddington hat einige derartige Fälle, die in der Bai von Bengalen vorkamen, gesammelt. Capitain Corney erlebte sie inmitten der Madras- und Masulipatam-Cyclone vom 21. bis 23. Mai 1843, kurz vor dem Umspringen des Windes. Er sagt: „Am stärksten waren die Windstösse um 1 Uhr; damals gab es harte, intermittirende Stösse, von grosser und schrecklicher Hitze begleitet. Nachdem der Sturm sich nach SW. gedreht hatte, gab es abwechselnd heisse und kalte Windstösse.“ In Betreff der October-Cyclone von 1848 schreibt Capitain Arrow: „Heisse und kalte Windstösse wurden deutlich gefühlt; die heissen kann ich nur mit dem Sirocco des Mittelländischen Meeres vergleichen.“ Andere Schiffe schildern in diesem Orkane deutlich den Fall von Graupeln, d. h. von Schnee oder Hagel mit Regen, und das in Ostindien, südlich von Calcutta! Ueber den Madrassturm von 1836 heisst es im Tagebuche des Schiffes William Wilson, welches denselben in nur 11 bis 12 Grad N. Br. durchmachte: „Ein ausserordentlicher Wechsel trat plötzlich in der Temperatur der Luft ein, aber leider kann ich nicht feststellen, ob ein entsprechender Wechsel am Thermometer stattfand, da ich nicht nach jenem Instrumente gesehen hatte, bis ich durch mein eigenes Gefühl und durch die Klage über Kälte seitens meiner ganzen Mannschaft hingelenkt wurde.“ Im südlichen Indischen Ocean befand sich schon am 25. u. 26. Novbr. 1843 das Schiff Futtle Rozack in der Cyclone VIII unserer Karte IV, und zwar unter dem 5. bis 6. Grad S. Br. In dem schon früher citirten Tagebuche [36 b]) desselben heisst es: „Starker Sturmwind SW. zu S., meistens von SW., begleitet von heftigen Böen. Das Regenwasser äusserst kalt, das Seewasser sehr warm, viel wärmer als gewöhnlich. Bergige See aus Süden“; und am 26. November ähnlich: „Frischer Sturm mit wüthenden Windstössen und Regen so kalt wie Eis.“

Also eiskalter Regen so nahe beim Aequator und Graupelfall in der Bai von Bengalen! Muss nicht dieser Regen aus den eisigen oberen Regionen der Atmosphäre niedergestürzt sein? und

ist es nicht im höchsten Grade wahrscheinlich, dass er die kalten Luftmassen mit sich gerissen oder wenigstens die Temperatur der von ihm (wohl in Form von Hagel) durchbrochenen unteren Schichten so tief erniedrigt hat? Uns wenigstens scheinen diese kalten Windstösse eine directe Bestätigung der Ansichten zu sein, die wir früher über die Bildung der heftigen Windstösse inmitten der Orkane entwickelt haben. Die heissen Luftströme aber halten wir für einen Theil der Luftmassen, die vom Lande her in die Bengalischen Cyclonen einströmen.

Der Hauptgrund, weshalb uns alle älteren Ansichten über die Entstehung und Fortdauer der Wirbelstürme unbefriedigt lassen, ist der, dass sie keine genügende Erklärung für die ungeheuren mechanischen Leistungen dieser Orkane bieten. Es dürfte deshalb zweckmässig sein, wenn wir unserseits an einem speciellen Beispiel nachweisen, dass wirklich die frei werdende latente Wärme des in der Cyclone zu Regen verdichteten Wasserdampfes jene mechanische Arbeit leisten kann. Wir haben für den Cuba-Orkan (pag. 121) die lebendige Kraft, welche der einströmenden Luft ertheilt wird, zu 39950 Millionen Meterkilogramm in jeder Secunde berechnet, von welcher Summe eigentlich der vor dem Einströmen in jener Luftmasse vorhandene Betrag an lebendiger Kraft abzuziehen wäre. Diese 39950 Millionen Meterkilogramm sind äquivalent derjenigen Wärmemenge, welche frei wird durch die Verdichtung von

158090 Kilogramm Wasserdampf per Secunde.

Diese Zahl scheint sehr gross, ist aber in der That auffallend klein zu nennen; denn die einströmende Luft enthält 33 bis 45 Mal so viel Wasserdampf, wenn ihr Thaupunkt bei 15 bis 20 Grad Cels. liegt. Und wenn auf die Basis unseres Sturmcylinders, dessen Radius wir früher zu 100 Engl. Meilen angenommen haben, von Secunde zu Secunde sich jene 158090 Kilogramm Wasser in Form von Regen vertheilten, so würde sich im Verlaufe von 24 Stunden doch nur die unbedeutende Regenhöhe von $^{17}/_{100}$ Millimeter oder $^{1}/_{16}$ Linie ergeben. Unsere Fensterscheiben sind im Winter oft mit viel mehr als $^{17}/_{100}$ Millimeter Wasser beschlagen. Auch in dieser Beziehung wird also unsere Erklärung der Wirbelstürme allen Anforderungen gerecht.

Achter Abschnitt.

Wirbelstürme in der Sonnen-Atmosphäre.

Eine schöne Bestätigung unserer Ansichten von der Entstehung der Wettersäulen und Wirbelstürme finden wir nicht nur in ihrem vorzugsweisen Auftreten während der heissen Tages- oder Jahreszeit, sondern auch in ihrer sonst unbegreiflichen örtlichen und geographischen Verbreitung. Die kleineren Wirbelwinde bilden eine ganz gewöhnliche Erscheinung in den Sandwüsten und baumlosen Steppen der wärmeren Erdstriche, z. B. in Südrussland, Africa, Indien, Australien und in den Sand- und Graswüsten von America; auf unseren reich cultivirten Fluren dagegen sind sie verhältnissmässig selten, wir sehen sie fast nur an heissen, windstillen Sommertagen, und zwar auf sonnigen Plätzen und Landstrassen, und das leichtbewegliche Laub unserer Wälder, sowie die langgestreckten Kornhalme werden äusserst selten von ihnen beunruhigt. Ebenso treten die Wettersäulen und Wasserhosen am Häufigsten in der heissen Zone auf, weil dort die erforderlichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft am Leichtesten vorkommen können; in den kalten Zonen hingegen sind sie gänzlich unbekannt. Es ist sicher kein Zufall, wenn speciell in Deutschland das Rheinthal bei Königswinter und Coblenz verhältnissmässig oft von Wettersäulen heimgesucht wurde; von Höhenzügen umschlossen mag die Luft in diesem weiten und wasserreichen Thale häufiger als anderswo ganz zur Ruhe kommen, und alsdann durch die Gluth der Sonne, welche unserem edlen Wein sein Feuer giebt, aufgelockert werden, bis sie emporstrudelt. Die Vereinigten Staaten von Nordamerica haben grössere und einförmigere Ebenen als das mittlere und westliche Europa,

ihr Sommer ist heisser als der unserige; was Wunder also, wenn die Americanischen Tornados heftiger, ausgedehnter und häufiger sind, als unsere Wettersäulen! Ohne Zweifel aber werden sie wiederum weit übertroffen von den Tornados der Africanischen Sandwüsten, welche ganze Wolken von Staub mit sich emporreissen, so dass dadurch selbst auf den Canarischen Inseln manchmal die Sonne verdunkelt wird.

Und wenn bei den Wirbelstürmen nicht bloss die starke Erwärmung, sondern namentlich auch der Dampfgehalt der unteren Luftschichten eine grosse Rolle spielt, so ist es wohl begreiflich, dass dieselben vorzugsweise auf dem Meere, seltener und minder heftig auf den Continenten entstehen, dass sie am Schrecklichsten in der heissen Zone wüthen, dass sie dort namentlich in der Gegend der Calmen sich bilden, und dass ihre Ausdehnung von der Grösse des Meeres, dessen Luftraum sie durchwühlen, theilweise abhängt. Piddington[37 b]) macht zu der Andaman-See, diesem engbegrenzten östlichen Theile der Bai von Bengalen, die Bemerkung, eine weite Ausdehnung des Meeres sei durchaus nicht erforderlich zur Entwickelung von äusserst heftigen Cyclonen, die freilich einen sehr kleinen Umfang haben mögen; und einen Beleg hiefür bietet ihm der Orkan vom 10. bis 12. November 1844, welcher daselbst die Englischen Transportschiffe Briton und Runnimede zu Wracks machte. Ebenso mag die relative Kleinheit des Chinesischen Meeres daran schuld sein, dass seine fürchterlichen Teifuns im Vergleiche zu den Wirbelstürmen des Atlantischen und des südlichen Indischen Oceans eine geringe Ausdehnung haben. Seit den Tagen des Horaz ist das Caspische Meer berüchtigt wegen seiner plötzlichen und heftigen Stürme; wenn dieselben, wie wir anzunehmen geneigt sind, zum Theil den Character von Cyclonen besitzen, so gehören sie gewiss wegen der geringen Grösse jenes Meeres zu den Seetornados oder Tornado-Cyclonen.

Umgekehrt dürfen und müssen wir schliessen, dass die Wirbelstürme viel häufiger, heftiger und in noch grösserer Ausdehnung in unserer Atmosphäre auftreten würden, wenn unter allen Himmelsstrichen die Temperatur- und Feuchtigkeits-Verhältnisse der Luft denjenigen unter den Tropen ähnlich wären. Welche gewaltige Rolle mögen die Cyclonen aber erst in grauer Vorzeit gespielt haben, als noch die Erde, wie hervorragende Astronomen und Geologen mit Grund behaupten, glühend war! Damals gab es vielleicht Meere von feurig-flüssiger Lava, aber keine von Wasser;

letzteres war vielmehr theils als durchsichtiger Dampf, theils in Form von schweren, dichten Wolken in der viel weiter als jetzt sich erstreckenden Atmosphäre vertheilt, und wo es etwa in wolkenbruchartigen Regengüssen zur glühenden Erdoberfläche niederstürzte, wurde es alsbald wieder siedend in Dampf verwandelt. Die untersten Luftschichten, von der Erdoberfläche aus viel stärker erhitzt als heutzutage, mussten auf diese Weise ganz bedeutende Mengen von Wasserdampf aufnehmen; die obersten Luftschichten dagegen, zum Theil durch Wolken gegen die Gluth der Erde geschützt, konnten und mussten durch Wärmestrahlung nach aussen sich stark abkühlen und ihren Dampfgehalt in Form von Regen verlieren.

Ueber die ganze Erde hin waren also die Bedingungen zur Entstehung der ausgedehntesten Cyclonen vorhanden. Im Wirbelsturme emporsteigend, musste die heissfeuchte untere Luft ganz andere Wassermassen in Wolkenform abgeben, als jetzt; ihr Auftrieb musste wegen der Grösse dieses Niederschlages und seiner latenten Wärme viel heftiger und die Geschwindigkeit des Sturmwindes unvergleichlich grösser werden, als in den furchtbarsten unserer jetzigen Orkane. Es wird keine müssige Speculation sein, wenn wir uns eine Vorstellung davon zu bilden suchen, wie damals wohl die Erde vom Monde her ausgesehen haben mag.

Sie musste dem Beobachter als eine grosse, glühende Scheibe erscheinen, von etwa viermal so grossem Durchmesser wie die Mondscheibe, jedoch umgeben von einer sehr ausgedehnten, von Wolken durchzogenen Atmosphäre. Während vielleicht auf der feurig-flüssigen Erdoberfläche keine bedeutenden Unterschiede wahrzunehmen waren, zeigte der umgebende Luftraum bei genauer Beobachtung starke, längere Zeit hindurch andauernde Wallungen, die mit den grösseren, regelmässig geformten Wolken in Beziehung standen. An solchen Stellen der Erdscheibe nämlich, wo die Luft heftig nach aussen hin vorbrach, bildete sich bald aus dem mitgerissenen Wasserdampfe eine rasch anwachsende und immer dichter werdende Wolke, die auf der Erdscheibe als rundlicher Fleck sich darstellte. In der Mitte, wo die Wolke sich erneuerte, so lange der nach aussen gehende Luftstrom anhielt, erschien sie compact und undurchdringlich, an den Rändern dagegen war sie in kleinere Stücke zertheilt, die allmälig sich auflösten. Manchmal war vielleicht auch die Wirbelbewegung des ausbrechenden Luftstroms erkennbar, sei es am Luftstrome selbst und dem mit-

geführten Nebel, sei es an der gebildeten Wolke. Letztere bewegte sich bei der Drehung der Erde langsam von West nach Ost, bis sie am östlichen Rande der Erdscheibe verschwand; und wenn der erzeugende Luftstrom lange genug anhielt, kam sie nach einiger Zeit am westlichen Rande wieder zum Vorschein, so dass aus dieser regelmässigen Bewegung die Dauer der Erdumdrehung hätte annähernd berechnet werden können. Aber auch eine eigene Bewegung dieser Wirbelstürme über die Erdoberfläche hin hätte wahrgenommen werden können, indem gleichzeitige Wolken dieser Art sich manchmal auch gegen einander verschoben, sich namentlich ihr Abstand vom Aequator änderte und sie nicht immer dieselbe Umlaufszeit ergaben.

Diese Betrachtung ist durchaus keine eitle Phantasie, wie so manche romanhafte Auslassungen über das Leben und die Bewohner ferner Planeten oder kaum sichtbarer Fixsterne, sondern sie gründet sich auf die sichere Kenntniss, die wir von den Wirbelstürmen besitzen. Sie wird ausserdem bestätigt durch die Erscheinungen, welche in den letzten Jahren mit Hülfe der Spectral-Analyse auf dem einzigen, noch heftig glühenden Körper unseres Sonnensystemes, auf der Sonne selbst wahrgenommen worden sind. Auch auf der Sonne giebt es ungeheure Cyclonen, und vielleicht dient Das, was wir soeben über die Wirbelstürme des früher glühenden Erdballs gesagt haben, dazu, auch jene solaren Cyclonen unserem Verständnisse näher zu rücken. Wir sind zu der Hoffnung berechtigt, dass die Erforschung dieser Sonnenstürme auch zu der Kenntniss der irdischen Cyclonen noch einmal wesentlich beitragen werde, und sicher werden aus ihr neue Bestätigungen unserer Erklärung der Wirbelstürme sich ergeben. Der Schilderung bisheriger Beobachtungen von solaren Cyclonen müssen wir eine kurze Zusammenstellung derjenigen zuverlässigen Kunde, die wir bis jetzt von der Constitution der Sonnenatmosphäre besitzen, vorausschicken. [51])

Kirchhoff, welcher bekanntlich mit Bunsen zusammen die Spectral-Analyse geschaffen hat, bewies durch dieselbe schon 1861 „mit einer so grossen Sicherheit, als sie bei den Naturwissenschaften überhaupt erreichbar ist", dass die Sonnenatmosphäre Eisendämpfe enthält; schon damals behauptete er die Anwesenheit von Calcium, Magnesium, Natrium, Chrom und Nickel in der Atmosphäre der Sonne. Spätere Untersuchungen von Angström u. A. bestätigten diese Behauptung und fügten jenen Metallen noch das

Kobalt, Kupfer, Barium, Mangan, Titan und das Wasserstoffgas hinzu; auch machten sie es sehr wahrscheinlich, dass noch andere Metalle, wie Zink und Aluminium, sich in Dampfform auf der Sonne befinden. Von einer Anzahl sonstiger Metalle und von den nichtmetallischen Stoffen Silicium, Kohle, Stickstoff, Sauerstoff u. A. konnte das Vorkommen in der Sonnenatmosphäre bisher nicht direct durch das Spectroscop bewiesen werden; aus Secchi's Beobachtungen vom Februar 1869 scheint übrigens hervorzugehen, dass in oder über grossen Sonnenflecken sich Wasserdampf befindet, und hiernach würde in der Sonnenatmosphäre auch der Sauerstoff nachgewiesen sein.

Thatsächlich herrscht also auf der Sonne eine so hohe Temperatur, dass Eisen und viele andere Metalle sich als flüchtige, glühende Dämpfe in ihrer Atmosphäre vorfinden. Bei totalen Sonnenfinsternissen wird diese Atmosphäre sichtbar als ein Lichtkranz, welcher die dunkle Mondscheibe wie eine Glorie umgiebt und bekanntlich „Corona" genannt wird. Der innere perlweisse Theil dieser Corona hat eine scheinbare Breite von drei bis vier Bogenminuten und darüber; von ihm aus durchziehen meistens unregelmässige, wenig leuchtende Strahlenbündel den minder hellen, aber breiteren äusseren Ring, welcher allmälig in das Dunkel des Himmels übergeht. Da in der Entfernung der Sonne einer scheinbaren Ausdehnung von einer Bogensecunde die wahre Ausdehnung von 100 (genauer $98._{04}$) geographischen Meilen entspricht, so ergiebt sich allein für jenen inneren hellglänzenden Theil der Atmosphäre eine Höhe von 18000 bis 24000 und mehr geographischen Meilen über der eigentlichen Sonnenoberfläche, während bekanntlich der Erddurchmesser nur 1719 solche Meilen misst. Das Spectrum der Corona ist im Vergleiche zum Sonnenspectrum lichtschwach, aber gleich diesem continuirlich, wie Řiha und Tennant bei der Sonnenfinsterniss von 1868, Pickering, Harkness, Young u. A. übereinstimmend bei der Americanischen von 1869, und namentlich Young [52]) bei derjenigen vom December 1870 beobachtet haben. Dunkle Linien hat man im Coronaspectrum bisher nicht wahrgenommen, wohl aber mehrere helle, von denen die stärkste mit einer Linie des Eisendampfes zusammenfällt und mehrere andere (worunter die Linie D_3) unbekannten Gasen angehören. Auch diese Spectraluntersuchungen beweisen, dass der untere Theil der Sonnenatmosphäre aus selbstleuchtenden, glühenden Dämpfen oder Gasen besteht. Young schreibt dieser glühenden

Sonnen-Protuberanzen, beobachtet von Prof. F. Zöllner in Leipzig, 1. bis 4. Juli 1869.

gase bestehen; jedoch enthalten ihre unteren Theile nicht selten auch glühende Metalldämpfe, namentlich solche von Eisen, Titan, Barium, Natrium und Magnesium.[53]) Lockyer entdeckte ausserdem, dass die Sonne von einer im Spectroscope sichtbaren Hülle glühenden Gases umgeben ist, von welcher die Protuberanzen locale Anhäufungen sind. Er gab dieser Hülle den Namen „Chromosphäre"; ihre mittlere Dicke beträgt gegenwärtig 1000 bis 1500 geographische Meilen, und der Wasserstoff tritt auch in ihr am Deutlichsten hervor.

Die Protuberanzen ragen oft ungeheuer hoch über die Chromosphäre hinaus; so waren unter 4000 von Respighi[54]) skizzirten Protuberanzen mehr als 700 eine Minute oder drei bis vier Erddurchmesser hoch, und einige sogar sechs Minuten oder 36000 geographische Meilen. Unsere Tafel giebt mit Professor Zöllner's gütiger Erlaubniss eine Anzahl von Protuberanzen wieder, welche derselbe im Juli 1869 beobachtete, und deren Höhe 3500 bis 12000 geographische Meilen beträgt. Zöllner unterscheidet als characteristische Gruppen die dampf- oder wolkenförmigen und die eruptiven Protuberanzen. Auch Respighi[54]) erklärt die meisten der von ihm beobachteten Protuberanzen für gasige Eruptionen, welche nicht selten in parabolischen Strahlen zur Sonnenoberfläche zurückfallen; sie zeigen die seltsamsten, an phantastische Pflanzenformen erinnernden Umrisse, und verzweigen sich häufig auch seitlich in erstaunlicher Weise. Secchi[55]) unterscheidet drei Hauptformen von Protuberanzen, die berg- und cumulusartigen Anhäufungen (amas), die flammenartigen Strahlen (jets), welche oft in Garben vereinigt auftreten, und die weniger leuchtenden aber dauerhafteren Federbüsche (panaches), welche oft frei schwebende Wolken erzeugen. Wunderbar ist die Schnelligkeit, mit welcher trotz der grossen Dimensionen ihre Formen sich ändern, und von welcher die Figuren 3, 6 und 10 der Tafel Zeugniss geben. Wie Respighi und Secchi wahrgenommen haben, entstehen die veränderlichsten und am schnellsten verschwindenden Protuberanzen in der Nähe von Sonnenflecken; ausserhalb der Fleckenzone bis zu etwa 70 Grad Breite hinauf bleiben sie dagegen gewöhnlich tagelang sichtbar, so dass beide Beobachter sogar befriedigende Versuche machen konnten, mit ihrer Hülfe die Umdrehungszeit der Sonne zu bestimmen. Innerhalb der ersten 20 Grade bei den Polen wurden von Respighi nur ausnahmsweise Protuberanzen beobachtet; die dortigen Erup-



wachsender Geschwindigkeit emporstieg, bis es schliesslich mindestens 32 geographische Meilen per Secunde zurücklegte[51b]). Das Spectroscop gestattet nämlich, die relative Bewegung glühender Gase in Bezug auf unser Auge zu bestimmen. Mit seiner Hülfe konnte daher Lockyer u. A. am 14. März 1869 am Sonnenrande eine heftige Cyclone beobachten, in welcher die horizontale Geschwindigkeits-Componente des Gases etwa $8^1/_2$ geographische Meilen per Secunde betrug, also über 1200mal so viel wie die Windgeschwindigkeit in den heftigsten irdischen Orkanen.

Dass auch flammenartige Protuberanzen und die bisweilen von ihnen sich ablösenden Wolken sehr starke Wirbelbewegungen annehmen können, beweist die folgende Schilderung Vogel's[56]): „Die grösste und höchste Protuberanz wurde (von mir 1871) März 5 beobachtet; ihre Höhe betrug 160 Secunden, sie glich einem mächtigen Feuer .... Eine sich später von der Hauptmasse dieser Protuberanz abtrennende Wolke, die längere Zeit isolirt schwebte, hatte eine überaus starke rotatorische Bewegung. Bei enger Spaltstellung erschien die helle Protuberanzlinie Hβ stark gekrümmt und gleichsam um die dunkle *F* Linie des Sonnenspectrums geschlungen. Die Abweichungen betrugen $0._{23}$ Milliontel Millimeter Wellenlänge, was einer Geschwindigkeit von circa 20 Meilen in der Secunde entspricht.“ Eisen- und Magnesiumdämpfe wurden von dieser Protuberanz bis zu einer Höhe von 6 Secunden oder 600 geographischen Meilen mit emporgerissen.

Wir sind zu der Annahme berechtigt, dass diese Wirbelstürme der Sonnen-Atmosphäre auf ähnliche Weise entstehen wie die grossen Cyclonen unserer Oceane, oder besser gesagt (weil ja über ihnen keine wolkenartigen Niederschläge, sondern höchstens glühende Gaswolken sich bilden) wie unsere kleineren Wirbelwinde und Staubhosen. Bei solchen Protuberanzen, in denen das Wasserstoffgas mit nach oben hin wachsender Geschwindigkeit über die Chromosphäre emporsteigt, dürfte die Annahme eines vorhergehenden labilen Gleichgewichts-Zustandes der Sonnenatmosphäre geradezu nothwendig sein. Dass Alles, was wir bis jetzt über die enormen Geschwindigkeiten der eruptiven Protuberanzen wissen, sehr gut mit dieser Annahme vereinbar ist, beweisen unsere Rechnungen im Anhange No. 4. Von vorn herein ist klar, dass die Dimensionen und Geschwindigkeiten aufsteigender Luftströme in der Sonnen-Atmosphäre weit bedeutender sein

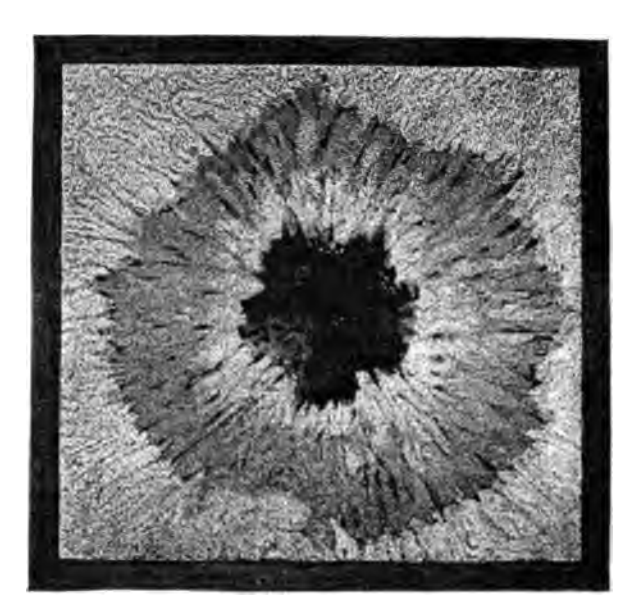
müssen als in der irdischen; denn die sie begünstigenden Temperatur-Unterschiede sind ohne Zweifel in der Sonnen-Atmosphäre ausserordentlich viel grösser als im Luftkreise unserer kleinen Erde. Dass übrigens nicht alle Protuberanzen, namentlich nicht die lange andauernden Federbüsche (oder panaches) des P. Secchi, auf diese Art zu erklären sind, halten auch wir für wahrscheinlich. Bei der Besprechung der Sonnenflecke wird sich ergeben, weshalb die eruptiven Protuberanzen vorzugsweise in der Fleckenzone und in der unmittelbaren Nähe der Flecke, sehr selten dagegen in der Nähe der Sonnenpole auftreten.

Hätten uns nicht bereits die Sonnenfinsterniss-Beobachtungen gelehrt, dass die Gashülle der Sonne sich viele tausend Meilen weit über die Chromosphäre hinaus erstreckt, so müssten wir es schliessen aus der Wahrnehmung frei schwebender oder sich seitlich weithin verzweigender Protuberanzen. Mit Sicherheit dürfen wir ebenso schliessen, dass die von Kirchhoff nachgewiesenen Dämpfe von Eisen, Calcium, Magnesium u. s. w. sich hauptsächlich, wenn nicht ausschliesslich unterhalb der Chromosphäre befinden. Denn nur in den unteren Theilen der Protuberanzen sind solche hellglühende Metalldämpfe direkt wahrgenommen worden; zudem hängt die Vertheilung der Gase und Dämpfe in der Sonnenatmosphäre wesentlich von ihrem specifischen Gewichte ab, und die schwersten Dämpfe müssen sich mehr nach unten hin anhäufen. Secchi [51d]) hat während der Sonnenfinsterniss von 1860 zwischen der Chromosphäre und der eigentlichen Sonnenscheibe eine nur wenige Secunden breite atmosphärische Schicht deutlich wahrgenommen, deren glänzendes Licht ihn momentan blendete, als er nach dem Verschwinden der Sonne das gefärbte Glas fortzog. Er hebt hervor, dass Airy 1842, Stephan und Tisserand 1868 und Cappelletti 1865 ähnliche Beobachtungen gemacht haben. Später entdeckte er mittelst des Spectroscopes am Rande der Sonnenscheibe eine sehr dünne Schicht, welche ein continuirliches Spectrum fast ohne Frauenhofer'sche Linien ergab, und die er für identisch hält mit jener innersten Region der Sonnenatmosphäre. In dieser, nur wenige hundert Meilen dicken Schicht glaubt er die von Kirchhoff nachgewiesenen Metalldämpfe annehmen zu müssen.

Diese Annahme hat durch eine Entdeckung Young's während der Sonnenfinsterniss vom 22. December 1870 eine glänzende Bestätigung erhalten. Young [57]) sah „während einer oder zwei

Secunden nach Eintritt der Totalität das Gesichtsfeld seines Spectroscopes bedeckt mit leuchtenden Linien; und soweit es sich in dieser allzu kurzen Zeit beurtheilen liess, zeigte jede nicht atmosphärische Linie des Sonnenspectrums sich hellglänzend.“ Den Zeitungsnachrichten [58]) zufolge wurde neuerdings während der Sonnenfinsterniss vom 12. December 1871 dieselbe Beobachtung in Jaffa erneuert; „gerade vor dem Totalen geriethen die schwarzen Linien des Sonnenspectrums plötzlich in einen strahlenden Glanz, verblichen dann, und es blieben vier helle Linien.“ — Secchi's Annahme stimmt ausserdem gut mit den Thatsachen überein, welche bislang über die Sonnenflecke festgestellt sind.

Die Sonnenflecke zeigen bei sehr starker Vergrösserung unregelmässige, wechselnde Formen; sie erscheinen in starken Telescopen eckig und zerrissen, wie ausgeschnitten, manchmal durch lichte Streifen überbrückt und meist von einem minder dunklen Halbschatten oder Hof (Penumbra) umgeben, welcher oft die Form



Sonnenfleck vom 3. December 1865, nach Tacchini.

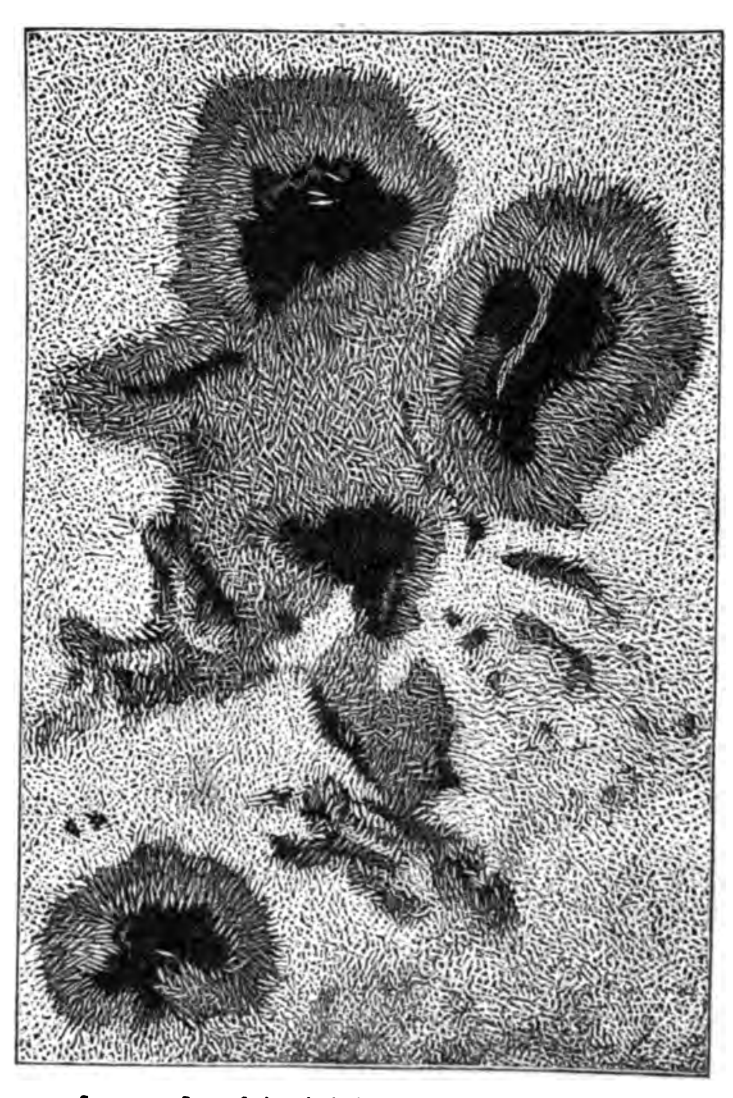
des Kernfleckes in allgemeinen Zügen wiederholt. Spörer's Beobachtungen zufolge besteht ein solcher Hof aus unzähligen kleinen und kleinsten Flecken oder Poren, die manchmal sehr rasch ent-

stehen und wieder vergehen; ihre Zwischenräume lassen die helle Fläche des Sonnenkörpers, über welcher der Fleck sich befindet, durchblicken. Grosse Flecke pflegen tage-, ja wochenlang trotz des Wechsels ihrer Gestalt und Grösse anzudauern, und Schwabe sah 1840 eine Fleckengruppe sogar während acht Sonnen-Rotationen (oder 200 Tagen) wiederkehren. Wie Secchi angiebt, nehmen im Allgemeinen die Flecke schliesslich eine rundliche Form an, die sie aber nicht sehr lange behalten; bald verengen sie sich wieder bis zur Grösse von Poren und schliessen sich dann völlig, auch theilen sie sich wohl, ehe sie verschwinden. Während der Fleck jene rundliche Grenzform angenommen hat, pflegt der Hof wie in der umstehenden Figur Tacchini's ein strahliges Gefüge zu besitzen; er ist nach innen zu heller als aussen, und seine Lichtpunkte überfluthen häufig den Rand des Kernes, woselbst sie aber in wenigen Stunden oder sogar Minuten sich auflösen.

Im Allgemeinen treten die Sonnenflecke in Gruppen auf, welche nicht selten von einem gemeinsamen Hofe umschlossen sind. In der gegenüberstehend abgebildeten Gruppe erkennt man deutlich die schwarzen Kerne mit ihren verschieden geformten Halbschatten, deren „Blätter“ nach dem Kernschatten gerichtet sind, sodann auch eine Lichtbrücke in einem der Kerne, und das Ganze umgeben von der granulirten, leuchtenden Sonnenoberfläche. Manchmal theilt sich ein Sonnenfleck in zwei oder mehrere, indem sich vom Rande her Lichtbrücken bilden, deren Glanz demjenigen der umgebenden Sonnenfläche vergleichbar ist, und indem diese sich durch Auflösung oder Verschiebung der benachbarten Kerntheile erweitern.

Obgleich die Flecke auf der strahlenden Sonnenscheibe ähnlich wie das blendende Drummond'sche Kalklicht schwarz erscheinen, so leuchten sie dennoch beträchtlich. Herschel schätzte ihre Helligkeit auf 0,007 des Sonnenlichtes; und hiernach würde den sehr genauen Messungen Zöllner's zufolge ein schwarzer Kernfleck noch immer 4000 mal so viel Licht ausstrahlen wie eine gleichgrosse Fläche des Vollmondes. Henry und Alexander haben nachgewiesen, dass die Flecke auch weniger Wärme ausstrahlen als die hellen Theile der Sonnenscheibe; aus 12 Messungen fanden sie am 4. Januar 1845, dass der Fleck nur $^4/_5$ so viel Wärme ausstrahlte wie seine Umgebung. Secchi schliesst aus seinen eigenen Messungen, dass die Sonnenatmosphäre nicht weniger als $^{88}/_{100}$ aller vom Sonnenkörper ausgesendeten Strahlen absorbirt,

dass die Aequator-Gegenden der Sonne wenigstens um $^1/_{16}$ mehr Wärme ausstrahlen als die Regionen jenseits der dreissigsten Breitengrade, und dass die Sonnenflecke nicht bloss weniger Licht, sondern ebenso auch weniger Wärme als die übrigen Regionen ausstrahlen.



Gruppe von Sonnenflecken, beobachtet von Nasmyth, 5. Juni 1864.

Ausser den mehr oder minder dunklen Sonnenflecken und meist in deren Nähe zeigt die Sonnenscheibe auch hellere Stellen, die Sonnenfackeln. Oft umgeben sie kranzartig mit strahlenförmigen Verzweigungen den Hof eines Fleckes, wie in der unten folgenden Figur Secchi's, welche einen grossen runden Fleck in der Nähe des Sonnenrandes darstellt. Als zwei von diesen Verzweigungen sich am Sonnenrande selbst befanden, sah Secchi deutlich daselbst eine Hervorragung von etwa einer Secunde; er zweifelt deshalb nicht, dass diese Fackeln wirkliche Erhöhungen sind. Der Zusammenhang zwischen den Flecken und Fackeln ist noch nicht völlig aufgeklärt; oft folgt den kranzartigen Fackeln nach einigen Tagen eine Fleckengruppe. Secchi sagt, die Bildung der Sonnenflecke werde immer einige Tage im Voraus an-



Sonnenfleck und Fackel vom 14. März 1866, nach Secchi.

gezeigt: „Man bemerkt in der Lichtsphäre eine grosse Unruhe, die sich bald durch Fackeln, bald durch Poren kundgiebt, sowie durch Abnahme der sie trennenden Lichtschicht; diese Poren verschieben sich anfangs rasch, dann scheint eine derselben das Uebergewicht zu erlangen, und sie verwandelt sich in eine weite Oeffnung"; hernach entwickelt sich allmälig der Halbschatten. In einer ganz kürzlich (September 1871) erschienenen Abhandlung [55]) erklärt Secchi ferner: „Die Gegenwart der strahlen- und garbenförmigen Protuberanzen ist das beste Zeichen von der bevorstehenden Erscheinung eines Fleckes ... Die Fackeln sind stetige Begleiter der strahlenförmigen Protuberanzen; aber die federbuschförmigen, zumal die kleinen, sind recht oft von ihnen unabhängig."

Respighi beobachtete umgekehrt, dass die Fackeln gewöhnlich von bedeutenden Protuberanzen begleitet sind; er erklärt sie für

„Modificationen der Lichtsphäre in der Nachbarschaft mächtiger Eruptionen.“ Gerade in der Umgebung von Flecken beobachtete er manchmal enorme Protuberanzen, die rascher sich ausdehnten und verschwanden als anderswo; er sagt: „An den Rändern der Flecke erheben sich gewöhnlich Gas-Strahlen von ausserordentlicher Stärke und Heftigkeit und von wohlbestimmten Formen“, im Kerne dagegen treten entweder gar keine oder nur unbedeutende, kurze Eruptionen auf. Respighi vermuthet, dass die bisweilen gigantischen Protuberanzen in der Nachbarschaft der Flecke den raschen Wechsel der letzteren hinsichtlich ihrer Form und Lage verursachen. Anderseits fand Secchi [55]), dass die Protuberanzen auch hinsichtlich ihrer Zahl und Grösse mit den Sonnenflecken in Beziehung stehen: „gegenwärtig gehen wir einem Minimum der Flecke entgegen, und auch die Protuberanzen sind wenig zahlreich und wenig ausgedehnt.“

Wohl die meisten Astronomen halten gegenwärtig mit Galilei, Kirchhoff und Spörer die Sonnenflecke für wolkenartige Gebilde. Wirklich dürfte sich nur durch diese Annahme das Uebereinandergreifen zweier Sonnenflecke erklären lassen, welches 1816 von Raschig, 1819 von Hallaschka, 1864 von Weiss und 1869 von Haag beobachtet wurde. Die unzweifelhaft bewiesene und allgemein anerkannte Thatsache, dass die Kerne tiefer liegen als ihre Halbschatten, steht mit dieser Annahme nicht im Widerspruch; vielmehr spricht gerade diese Thatsache, wonach also die kleineren, jenen Hof bildenden Flecke weiter als der Kern vom Sonnencentrum entfernt sind, gegen jede andere Hypothese über die Beschaffenheit der Flecke. Secchi entdeckte mit Hülfe des Spectroscopes, dass „die Tiefe der Flecke mit dichten Metalldämpfen erfüllt“ ist; und zwar enthalten die höchsten Flecke Natriumdämpfe, die mittleren auch Calciumdämpfe und die sehr tiefen eine Menge von Eisendämpfen. Zur Erklärung dieser Beobachtungen macht er mit Recht geltend, dass das Atomgewicht von Natrium und Calcium kleiner ist als dasjenige von Eisen. Auch Lockyer wurde durch seine Beobachtungen zu der Ansicht geführt, dass die Flecke im Allgemeinen Vertiefungen seien, ausgefüllt mit verdichteten Massen von Eisen, Calcium, Barium, Magnesium, Natrium, Wasserstoff, und überragt von dem leichteren Wasserstoffgase. Nach Young treten auch die Titanlinien, welche im gewöhnlichen Sonnenspectrum nicht leicht bemerkbar sind, sehr stark im Spectrum der Flecke hervor.

Gegen die Auffassung der Sonnenflecke als wolkenartiger Gebilde hat jedoch in neuester Zeit Zöllner [59]) einen gewichtigen Einwand erhoben, und zwar auf Grund der ungleichen Rotationsdauer der Flecke. Bereits Scheiner machte darauf aufmerksam, dass die dem Sonnenäquator näheren Flecke eine kürzere Umlaufszeit liefern, als die entfernteren; und sehr deutlich geht Dieses aus der folgenden, von Carrington herrührenden Tabelle hervor:

Bewegung der Sonnenflecke in verschiedenen Breiten während eines mittleren Tages.

Breite.	Nördliche Hemisphäre.			Südliche Hemisphäre.		
Grade.	Täglicher Rotationswinkel.	Tägliche Bewegung in Breite.	Zahl der beobachteten Flecke.	Täglicher Rotationswinkel.	Tägliche Bewegung in Breite.	Zahl der beobachteten Flecke.
0°	867′	+ 3′.3	5	—	—	—
5°	863′	— 2′.4	85	865′	— 1′.6	31
10°	859′	— 1′.0	142	856′	+ 1′.0	218
15°	851′	+ 0′.2	127	845′	— 0′.4	98
20°	840′	+ 1′.0	151	839′	+ 0′.8	200
25°	831′	+ 3′.0	116	827′	+ 3′.0	75
30°	824′	+ 3′.5	59	814′	+ 1′.2	67
35°	806′	—	18	805′	— 5′.3	19
40°	—	—	—	—	—	—
45°	—	—	—	759′	— 8′	2
50°	787′	+ 11′	1	—	—	—

Aus dieser interessanten Tabelle ist ersichtlich, dass die Sonnenflecke am Häufigsten in den Gegenden des 10. und 20. Grades nördlich sowohl wie südlich vom Sonnenäquator beobachtet werden, dagegen viel seltener in grösserer Nähe des Aequators; niemals aber sind sie nahe bei den Polen in solcher Grösse und Dauer aufgetreten, dass sie zur Bestimmung der Umlaufszeit dienen konnten. Ferner ersieht man, dass die Flecke der höheren Breiten im Allgemeinen dem nächstgelegenen Pole sich nähern. Endlich aber beweist die Tabelle, dass wirklich die vom Aequator entfernteren Flecke im Allgemeinen viel langsamer rotiren, als die näher gelegenen; während z. B. die am Aequator befindlichen in $360 . \frac{60}{867}$ oder nicht ganz 25 Tagen die Sonnenaxe umkreisen, brauchen hiezu die unter dem 35. Breitengrade liegenden $360 . \frac{60}{806}$ oder beinahe 27 Tage. Dieses Erfahrungsgesetz erleidet übrigens wesentliche Ausnahmen; Spörer hat nicht allein

zu verschiedenen Zeiten, sondern auch gleichzeitig Sonnenflecke beobachtet, von denen der vom Aequator entferntere schneller rotirte als der andere.

Zöllner macht nun geltend, dass jenen Beobachtungen Carrington's zufolge die täglichen Rotationswinkel von zwei Punkten der Sonnenoberfläche, deren heliographische Breiten um 1° verschieden sind, sich durchschnittlich um 1°.6 von einander unterscheiden, und dass demnach ein wolkenartiger, runder Fleck von 1° Durchmesser sich während einer halben Rotationsdauer der Sonne in einen Streifen von 20° Länge verwandeln müsse; ein Fleck von 3° Durchmesser (und es giebt deren noch grössere) würde sogar nach einmaliger Rotation einen Streifen von 120° Länge bilden, sich also fast über den ganzen uns zugewendeten Theil des betreffenden Parallelkreises ausdehnen müssen. *) Da nun derartige Erscheinungen, bis auf die nun leicht erklärliche Tendenz der Gruppen, sich den Breitenkreisen parallel zu stellen, nicht beobachtet werden, so kann Zöllner gegenüber der bisherigen Galilei-Kirchhoff'schen Auffassung der Flecke mit einigem Rechte sagen: „Ich betrachte die Abwesenheit dieser Streifenbildung auf der Sonne als einen der schlagendsten Beweise gegen die wolkenartige Natur der Sonnenflecke.“ Er selbst hält die Flecke für ungeheure Schollen von schlackenartiger Beschaffenheit, die auf der, wie er annimmt, feurig-flüssigen Sonnenoberfläche treiben.

Wir selbst wollen noch einen zweiten, bisher kaum beachteten Einwand geltend machen, der aber noch stärker gegen die schlacken- als gegen die wolkenartige Beschaffenheit der Flecke gerichtet ist. Die von der Sonne ausgestrahlte Wärmemenge ist, Pouillet's Messungen zufolge, so ungeheuer gross, dass sie hinreichen würde, um an der Sonnenoberfläche in jeder Minute eine Eisschicht von 10 bis 11 Meter Dicke zu schmelzen. Wenn nun von den Flecken auch nur der fünfte Theil dieser Wärmemenge absorbirt wird, wie ist es alsdann denkbar, dass dieselben wochen-, ja monatelang sich als Schlacken oder Wolken erhalten, ohne zu schmelzen

*) Aus Carrington's Tabelle ist ersichtlich, dass Zöllner hier Minuten mit Graden verwechselt hat; denn die täglichen Rotationswinkel von zwei Punkten der Sonnenoberfläche, deren heliographische Breiten um 1° verschieden sind, unterscheiden sich durchschnittlich nur um 1'.6 (nicht um 1°.6) von einander. Ein Fleck von 3° Durchmesser würde demnach erst nach 60maliger Rotation einen Streifen von 120° Länge bilden. Zöllner's Einwand bleibt gleichwohl bestehen, wenn er auch sehr bedeutend an Gewicht verliert.

oder sich zu verflüchtigen? Das in einem Monate absorbirte Fünftel wäre ja im Stande, eine Eisschicht von etwa 90000 Meter oder 12 geogr. Meilen Dicke zu schmelzen! Zöllner nimmt an, dass die Flecke entstehen, wenn an der Sonnenoberfläche durch ungewöhnlich starke Ausstrahlung die Temperatur sich bedeutend erniedrigt; um so mehr dürfte gegen seine Auffassung der Sonnenflecke als „schlackenartiger Abkühlungsprodukte“ die zugleich mit ihnen eintretende Abnahme der Wärmestrahlung in's Gewicht fallen. Denn man vergesse nicht, dass die Flecke innerhalb weniger Tage sich bilden und dann oft viele Wochen lang Bestand haben.

Die sorgfältigen Beobachtungen Spörer's u. A. mit stark vergrössernden Telescopen haben nun aber gelehrt nicht bloss, dass die Flecke fortwährend ihre Gestalt und Grösse wechseln, sondern auch dass diese Formänderungen und Bewegungen vorwiegend durch partielle Neubildungen und Auflösungen an den Rändern hervorgebracht werden. Die Neubildungen müssen von den untersten Schichten der Sonnenatmosphäre herrühren, weil sie mit dichten Metalldämpfen erfüllt sind. Wir werden deshalb nicht fehl gehen, wenn wir mit Rücksicht auf analoge Vorgänge in unserer irdischen Atmosphäre und im Anschlusse an Galilei's Auffassung behaupten:

> Die Sonnenflecke sind wolkenartige Verdichtungsproducte in den tieferen Regionen der Sonnenatmosphäre, welche sich ähnlich wie die grossen Wolkenschichten der irdischen Cyclonen von unten her erneuern.

Die lange Dauer grosser Sonnenflecke wird hiedurch erklärt, denn auch die irdischen Cyclonenwolken dauern manchmal wochenlang; zugleich wird der von Zöllner erhobene Einwand nebst unserem eigenen beseitigt. Die Höhenunterschiede der Flecke, ihre ungleiche Rotationsdauer als Folge ihrer Eigenbewegung, ihre rundliche Grenzform, die raschen und ausserordentlich grossen Aenderungen ihrer Gestalt und Grösse, ihr Entstehen und Vergehen werden begreiflich; auch ihre bemerkenswerthen Beziehungen zu den Protuberanzen und ihre heliographische Verbreitung werden, wie wir sehen werden, leicht verständlich. Versuchen wir, soweit unsere Kenntnisse von der Sonne und die ungeheuren Verschiedenheiten zwischen der solaren und der irdischen Atmosphäre es

gestatten, uns eine bestimmte Vorstellung von den betreffenden Vorgängen zu machen.

An einer besonders heissen Stelle der Sonnenoberfläche, die gleich den Fackeln heller erscheinen wird als ihre Umgebung, mögen also die dort befindlichen untersten Schichten von Metalldämpfen und Gasen durch Ueberhitzung zum Emporsteigen gezwungen werden. Sie dehnen sich dabei aus und erkalten, nachdem sie vielleicht 100 oder 200 geographische Meilen gestiegen sind, so stark, dass die Metalldämpfe sich theilweise verdichten; ihre frei werdende latente Wärme vergrössert zugleich den Auftrieb der übrigen Dampf- und Gasmassen. Eine Wolke bildet sich als dunkler Fleck über der hellen Stelle, rasch wachsend von dem nachströmenden Dampfe, zugleich aber glühenden Regen von Eisen, Calcium, Natrium, Titan und vielleicht auch von chemischen Verbindungen dieser Metalle zur Sonnenoberfläche zurücksendend. Sie absorbirt einen beträchtlichen Theil der von unten sie treffenden Licht- und Wärmestrahlen und bewirkt über sich eine Abkühlung der Sonnen-Atmosphäre; die dort befindlichen Gase werden für uns theilweise unsichtbar, weil sie nicht mehr hinlänglich glühen, oder wie Respighi durch Beobachtung gefunden hat, „über den Kernschatten ist die Chromosphäre im Allgemeinen sehr niedrig und fehlt bisweilen gänzlich.“

Auch von oben müssen jetzt die erkalteten Dämpfe und Gase der Wolke zustürzen; die von unten aufsteigenden aber schiessen unter den Rändern des Fleckes hervor, und setzen den Rest ihrer Verdichtungs-Produkte in Form kleiner und kleinster Wolken in grösserer Höhe ab, so den Hof des Kernfleckes bildend. Den Messungen Wilson's, Tacchini's und Secchi's zufolge liegt der äussere Rand des Hofes nicht über 800 geographische Meilen oberhalb des Kernes; von dieser Höhe an enthalten deshalb die aufsteigenden Gasmassen nur noch Spuren von Metalldämpfen, und sie erscheinen rings um den Fleck als ungeheure eruptive Gas-Protuberanzen, deren untere Theile häufig im Spectroscop die Linien glühender Dämpfe von Natrium, Magnesium, Eisen u. s. w. zeigen.

Seltener kommt es vor, dass die Wolke sich durch eine Lichtbrücke spaltet und so einen Theil des aufsteigenden oder auch des von oben herabsinkenden Stromes durchlässt. Nach Secchi's Beobachtung stimmt das Spectrum einer Lichtbrücke mit dem gewöhnlichen Sonnenspectrum überein bis auf die drei Wasser-

stofflinien, welche nicht dunkel, sondern hellleuchtend erscheinen und zugleich in das Spectrum des Kernes übergreifen. Eine andere directe Bestätigung dieser unserer Auffassung der Lichtbrücken ist in dem folgenden Berichte Vogel's [56]) enthalten: „Am 6. Mai (1871) untersuchten wir, Dr. Lohse und ich, spectroscopisch einen grossen Sonnenfleck, dessen Kern durch zwei helle Lichtbrücken gespalten war. Als der Spalt des Spectroscopes auf diese Lichtbrücken gestellt wurde, zeigten sich starke Verschiebungen der Spectrallinien, und zwar so, dass die Theile längs der Kante des grösseren Flecks von der Sonnenoberfläche emporstiegen, an der Kante des kleineren Flecks dagegen sich auf dieselbe herabbewegten. In der Mitte der Lichtbrücke coincidirten die Linien mit den Linien des Spectrums der umliegenden Theile der Sonnenoberfläche. Auffällig war es, dass sämmtliche Linien im Spectrum, soweit es untersucht werden konnte, an dieser Verschiebung theilnahmen; es musste demnach eine im Bogen vor sich gehende Bewegung der feuerflüssigen Masse, sozusagen ein Hervorquellen derselben stattfinden, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 5 Meilen in der Secunde, da die Verschiebung bei der Linie *F* zu 0,05 Milliontel Millimeter Wellenlänge geschätzt wurde.“ Dass in dem von uns unterstrichenen Satze unter „feuerflüssiger Masse“ nicht geschmolzene, sondern dampfförmige Metalle und überhaupt glühende Gase zu verstehen sind, wird jedem Kundigen einleuchten; denn aus einer Verschiebung dunkler Frauenkofer'scher Linien können wir nicht auf die Geschwindigkeit der Lichtquelle, sondern nur auf diejenige des absorbirenden Mediums schliessen.

Mit unserer Auffassung der Sonnenflecke stimmt die an einzelnen derselben oft beobachtete rotirende Bewegung sehr gut überein, die schon im vorigen Jahrhundert von Silberschlag bemerkt wurde. Denn die Rotation der Sonne, wiewohl 25mal langsamer als diejenige der Erde, muss in den Stürmen der Sonnenatmosphäre, soweit dieselben von starken aufsteigenden Strömungen herrühren, ebenfalls eine, wenn auch verhältnissmässig schwächere Wirbelbewegung hervorrufen. Wirklich sind in den letzten Jahren so häufig Drehstürme in der Sonnen-Atmosphäre beobachtet worden, dass das Wort „Cyclone“ sich auch bei den Sonnenbeobachtern bereits eingebürgert hat. Manche Flecke deuten schon durch ihre spiralige Structur auf solche Wirbelbewegungen entschieden hin, wie z. B. der nebenstehend abgebildete, am

5. Mai 1857 von Secchi gesehene Fleck. Beobachtungen über den Sinn, in welchem diese Drehungen stattfinden, sind uns nicht bekannt; sie müssten, wie schon Carrington angegeben hat, auf der Nordhälfte der Sonne nach links und auf der Südhälfte nach rechts herum gehen. Doch könnte bei kleinen Flecken, zumal da die Sonne viel langsamer rotirt als die Erde, etwas Aehnliches eintreten, wie bei unseren Wirbelwinden und Wettersäulen, die bald nach links, bald nach rechts sich drehen. — Als Beispiel einer Sonnen-Cyclone möge noch Folgendes dienen. [51 a, b])



Spiraliger Sonnenfleck,
gezeichnet von Secchi 5. Mai 1857.

Am 21. April 1869 beobachtete Lockyer einen Fleck in der Nähe des Sonnenrandes. Um $7^1/_2$ Uhr zeigte sich im Gesichtsfelde eine Protuberanz, welche in voller Thätigkeit begriffen war. Die Linien des Wasserstoffs waren äusserst glänzend, und da das Spectrum des Flecks zugleich sichtbar war, so konnte man sehen, dass die Protuberanz dem Flecke vorauseilte. Die heftige Eruption hatte Metalldämpfe aus der Photosphäre in einer Menge mit sich gerissen, wie es vorher noch nicht beobachtet worden war. Hoch oben in der Wasserstoffflamme schwebte eine Wolke von Magnesiumdampf. „Es erschien, als ob die Protuberanzen sozusagen vom anliegenden Rande des Fleckes gespeist würden“, sagt Lockyer selbst. Um $8^1/_2$ Uhr war der Ausbruch vorüber; aber eine Stunde später begann eine neue Eruption, und eine neue Protuberanz bewegte sich mit der furchtbarsten Schnelligkeit weiter. Während Dieses vor sich ging, erschienen plötzlich auf der nach uns zu liegenden Seite des Fleckes die Wasserstofflinien als helle Linien, und breiteten sich so beträchtlich aus, dass man annehmen musste, ein Wirbelsturm finde Statt. — An demselben Tage um 10 Uhr 55 Min. wurde zu Kew die Sonne photographirt; das Bild zeigte deutlich, dass in der Nähe des von Lockyer beobachteten Fleckes heftige Störungen in der Photosphäre stattgefunden hatten. Auf einer zweiten Photographie um 4 Uhr 1 Min.

erschien der Sonnenrand wie weggerissen, und zwar gerade an der Stelle, wo das Spectroscop Kunde eines Wirbelsturmes gegeben hatte.

Man darf solchen Beobachtungen gegenüber nicht geltend machen, dass bei den meisten Flecken keine Drehbewegung wahrgenommen ist. Auch die einförmige Wolkenschicht, welche unsere irdischen Cyclonen überdeckt, nimmt ja scheinbar nicht Theil an der Bewegung des Orkanes; und doch entsteht und erneuert sie sich fortwährend durch den Wirbelsturm. Auch darf nicht vergessen werden, dass die Flecke immerhin mehrere hundert geographische Meilen über der eigentlichen Sonnenoberfläche liegen mögen, und dass beim Aufsteigen zu dieser gewaltigen Höhe die Dampf- und Gasmassen andere, ihre Drehbewegung verdeckende Bewegungen annehmen können. Und dann wiederholen wir, dass die Wirbelbewegung der Sonnen-Cyclonen verhältnissmässig schwächer sein muss als diejenige der irdischen, weil die Sonne viel langsamer um ihre Axe rotirt als die Erde. Damit mag im Zusammenhange stehen, dass ein Sonnenfleck im Allgemeinen einen viel kleineren Bruchtheil der Sonnenoberfläche überdeckt als ein irdischer Wirbelsturm von der Erdoberfläche. Eine irdische Cyclone von 600 Seemeilen oder 150 geographischen Meilen Durchmesser (wir kennen ja sogar solche von 1000 und 1500 Seemeilen Breite) überspannt zehn Meridiangrade; auf der Sonnenoberfläche messen zehn Meridiangrade nicht weniger als 16150 geographische Meilen oder nahezu $9\frac{1}{2}$ Erddurchmesser, und Flecke von dieser Ausdehnung sind äusserst selten. Kommen doch selbst Flecke von 3 bis $3\frac{1}{2}$ Erddurchmesser Breite, die bereits mit unbewaffnetem Auge wahrnehmbar sind, nicht so gar häufig vor, wie schon der Umstand beweist, dass die Sonnenflecke überhaupt erst nach Erfindung des Fernrohres und mit Hülfe desselben entdeckt wurden.

Unsere Auffassung der Sonnenflecke giebt uns auch über ihre sehr ungleiche heliographische Verbreitung Rechenschaft. Secchi's Messungen haben, wie schon erwähnt wurde, ergeben, dass die Sonne an ihrem Aequator bedeutend wärmer ist als an den Polen; denn in 30 Grad Breite strahlt jeder Theil ihrer Oberfläche etwa $\frac{1}{16}$ weniger Wärme aus als ein gleichgrosser Theil derselben am Aequator. Der Grund dieser Thatsache ist nach unserer Ansicht zunächst in der starken Absorbtion der Sonnenatmosphäre zu suchen, welche nach Secchi nur 12 Procent der vom Sonnenkörper ausgesendeten Strahlen durchlässt; denn wegen der Rotation der

Sonne ist diese Atmosphäre am Aequator höher als an den Polen, und sie muss deshalb dort die Sonne mehr vor rascher Ausstrahlung und Abkühlung schützen als hier. Dazu kommt die Einwirkung der atmosphärischen Strömungen, welche, jener ungleichen Wärmevertheilung zufolge, in ähnlicher Weise auf der Sonne wie auf der Erde stattfinden müssen. In der heissen Zone steigt die Luft empor, strömt oben den Polen zu*) und sinkt in deren Nähe, durch Strahlung abgekühlt, wieder herab, um wiederum dem Aequator zuzuströmen und dort auf's Neue erwärmt aufzusteigen. Die polaren Gegenden der Sonnenoberfläche sind deshalb, wie schon Zöllner[60]) hervorhebt, von kälterer Luft bespült als die äquatorialen. Dieses ist aber ein Grund, weshalb in der Nähe der Sonnenpole ebenso wenig Protuberanzen und Flecke vorkommen, wie Wettersäulen und Wirbelstürme in den kalten Zonen unserer Erde; denn starke aufsteigende Strömungen können daselbst nicht eintreten. Wären dagegen die Flecke schlackenartige Abkühlungsprodukte, die wie Schollen auf einer feurigflüssigen Oberfläche schwimmen, so müssten sie nach unserer Meinung gerade an den kälteren Sonnenpolen am Häufigsten sich zeigen. — Auch das seltene Auftreten der Flecke in grosser Nähe des Sonnenäquators findet in ähnlicher Weise seine Erklärung wie die gleiche Erscheinung bei irdischen Wirbelstürmen.

Ueber die wahren Bahnen der Flecke wissen wir leider sehr wenig, weil bis jetzt die Rotationszeit der Sonne nicht unabhängig von ihnen mit Sicherheit ermittelt werden konnte. Sollte es sich bestätigen, was Vogel[56]) durch spectroscopische Messungen gefunden hat, dass nämlich die Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenoberfläche etwas grösser ist, als die Beobachtungen der Sonnenflecke sie ergeben haben, so würde daraus folgen, dass die Flecke ähnlich wie die irdischen Wirbelstürme der heissen Zone von Osten nach Westen fortschreiten, also entgegengesetzt der Drehbewegung der Sonne. In höheren Breiten bewegen sich die Flecke in stärkerem Masse der Sonnenumdrehung entgegen als in den niederen; auch näheren sie sich im Allgemeinen gleich unseren Wirbelstürmen dem nächstgelegenen Pole. Eine allgemein gültige Regel lässt sich jedoch für ihre Bahnen ebenso wenig aufstellen wie für diejenigen der irdischen Cyclonen.

---

*) Secchi[55]) hat einen directen Beweis für diese oberen Strömungen gefunden. Seinen Beobachtungen zufolge sind die Gipfel der Protuberanzen meistens dem nächstliegenden Pole zugeneigt.

Wir wissen, dass unsere Oceane häufig von gleichzeitigen Orkanen aufgeregt werden, und auch bei den Wasserhosen und Tornados haben wir die Bemerkung gemacht, dass sehr oft mehrere derselben nahe bei einander beobachtet werden. Beispielsweise finden wir auf unserer Karte IV die Wirbelstürme der Martha und des Phönix verzeichnet, deren Axen am 25. Februar 1860 nur 960 Seemeilen von einander entfernt waren, so dass vielleicht die Wolkenschicht des einen mit derjenigen des anderen zusammenhing. Aehnliche Erscheinungen beobachten wir bei den Sonnenflecken, welche ja häufig in Gruppen vereint auftreten, von einem und demselben Hofe umschlossen. Dass dabei die einzelnen Flecke sich verschieden bewegen, hat Spörer constatirt; doch ist wahrscheinlich und natürlich, dass sie sich in ihrer Bewegung gegenseitig beeinflussen. Sehr merkwürdig ist die nicht selten beobachtete Theilung eines Fleckes in zwei oder mehrere andere; doch finden wir auch hiefür ein Analogon bei irdischen Cyclonen. Piddington hat einen wüthenden Wirbelsturm, welcher im Juni 1842 über Calcutta hinwegging, einige hundert Seemeilen landeinwärts verfolgt; derselbe theilte sich in zwei vollkommene Cyclonen von kleinerem Durchmesser, deren Bahnen er in seiner Karte der Bai von Bengalen verzeichnet hat.

Die Analogie der Sonnenflecke mit den Wolken irdischer Cyclonen können wir auf diese Weise bis in's Einzelne verfolgen; doch glauben wir, dass in einem Punkte eine wesentliche Verschiedenheit bestehen wird. Die Wolkenschicht unserer Wirbelstürme löst sich wahrscheinlich langsam, vielleicht erst im Verlaufe von Wochen, vollständig auf, und wird zumal in den höheren Breiten vermuthlich sehr weit über die Erdoberfläche vertheilt und fortgetragen; die Sonnenflecke dagegen müssen wegen der ungeheuren Wärmemenge, die sie fortwährend absorbiren, sehr rasch, vielleicht schon in wenigen Stunden zergehen, sobald der sie erzeugende aufsteigende Strom vollständig aufhört. Zum Belege hiefür erinnern wir an die ausserordentlich grossen Dimensionen der Formänderungen, welche grosse Flecke nicht selten in einer oder einer halben Stunde erleiden. Diese rasche Auflösung von Fleckentheilen, welche nicht beständig von unten erneuert werden, ist gewiss der Grund, wenn wir die, freilich nur schwache Tendenz zur Streifenbildung bei den Sonnenflecken nicht verwirklicht sehen. Wenn die auf einzelnen Planeten, namentlich auf dem Jupiter beobachteten Flecke ebenfalls Wolken sind, was freilich noch nicht

ausgemacht ist, so dürfte manches Abweichende in ihrem Verhalten gegenüber den Sonnenflecken durch jenen wesentlichen, in der hohen Temperatur der Sonne begründeten Unterschied erklärlich werden.

Wir halten es für unnöthig, noch auf die eilfjährige Periode, welche Schwabe und R. Wolf hinsichtlich der Häufigkeit der Sonnenflecke constatirt haben, ausführlich einzugehen. Denn die scharfsinnigen Betrachtungen, durch welche Zöllner[60]) diese Periodicität erklärt, finden ebenso gut auf wolken- wie auf schlackenförmige Flecke Anwendung.

Die erste Anregung zu dieser unserer Auffassung der Sonnenflecke, welche, wie wir dargelegt zu haben glauben, alle über die Flecke bekannten Thatsachen im befriedigendsten Zusammenhange erscheinen lässt, verdanken wir einer Aeusserung des Sir J. F. W. Herschel. In der achten Versammlung der British Association for the Advancement of Science bemerkte dieser berühmte Astronom im Anschlusse an einen Vortrag von Reid[36e]), „mit den Sonnenflecken seien Umstände verknüpft, welche ihm mit Gewalt den Gedanken an Tornados in der Sonnenatmosphäre aufdrängten.“ Doch müssen wir sogleich von Herschel uns trennen, wenn derselbe fortfährt: „Diese Tornados zerstreuen und öffnen die leuchtenden oberen Materien und legen die dunkle Masse darunter bloss“; denn seine Annahme eines dunklen Sonnenkernes ist bereits von Kirchhoff völlig widerlegt worden.

Wir halten es nicht blos für möglich, sondern geradezu für wahrscheinlich, dass diese unsere Erklärung der Sonnenflecke bei dem raschen Fortschritt unserer Kenntnisse über die Sonne schon bald in einzelnen Punkten Modificationen und Verbesserungen erfordern wird. Dennoch aber glauben wir dem Grundgedanken derselben, „dass nämlich die Sonnenflecke wolkenartige Verdichtungsprodukte sind, die sich durch aufsteigende Gas- und Metalldampfströmungen von unten her bilden und erneuern“, etwas mehr Werth als den einer blossen Hypothese beilegen zu dürfen. Denn er gründet sich vor Allem auf die unzweifelhafte Thatsache, dass dieselben Kräfte, welche auf unserer kleinen Erde die Wettersäulen und Wirbelstürme hervorrufen, in viel stärkerem Masse auf dem ungeheuren, glühenden Sonnenball thätig sind. Kein Vernünftiger kann daran zweifeln, dass auch auf der Sonnenoberfläche die Schwerkraft wirksam ist, und dass auch dort ein Gas, welches unter gegebenem Drucke erwärmt wird, sich ausdehnt.

Wir haben im Grunde nur die gemeinschaftlichen Wirkungen der Schwerkraft und dieser Expansionskraft der Gase in der Sonnen-Atmosphäre aufgesucht und erörtert, indem wir an der Hand sehr zahlreicher und mannigfaltiger Beobachtungen eine Erklärung der Sonnenflecke und einer bestimmten Art von Protuberanzen zu geben versuchten.

Wenn uns, nachdem dieser ganze Abschnitt druckfertig redigirt war, noch irgend Etwas in den hier ausgesprochenen Ansichten bestärken konnte, so war es der hocherfreuliche Umstand, dass einer der fleissigsten Beobachter der Sonnenflecke, dessen hohe Autorität in Bezug auf dieselben kein Astronom bezweifelt, nämlich Professor Spörer in Anclam, seither durch seine Beobachtungen zu ganz ähnlichen Ansichten gelangt ist. Er äussert sich wie folgt:[61]) „Bei den gewöhnlichen Protuberanzen werden durch die Gewalt der Wasserstofferuptionen wohl auch andere Massen emporgeschleudert, aber durch die Ausbreitung des Wasserstoffs wird die Temperatur vermindert; jene Massen werden als minder leuchtende unsichtbar, und werden anfänglich auch in dem Grade zerstreut, dass dabei keine Flecke entstehen können. In der flammigen Chromosphäre (oder Protuberanz) findet keine derartige Ausbreitung des Wasserstoffs statt, in der höheren Temperatur bleiben die gehobenen Massen nahe der Oberfläche leuchtend; darüber bilden sich dunkle Wolken (abgekühlte Massen, Verbrennungsprodukte, Aschen u. dergl.), und die allseitig auf die heisseren Flächen einströmenden Stürme treiben die dunkelen Stoffe zusammen, welche sich dann als dunkele Wolken bis zur Oberfläche herabsenken und niedrige Protuberanzen ersticken. Der so entstandene Fleck ist Mittelpunkt convergirender Stürme; die den Hof bildenden kleinen Flecke zeigen die Richtung der Stürme. Die sogenannten Lichtadern der Kerne sind Spalten des Kernes, zwischen denen nicht nur (wie ich sonst meinte) die untere Fackelfläche sichtbar wird, sondern durch welche auch flammige Protuberanzen zum Durchbruche gelangen.“

Neunter Abschnitt.

Praktische Regeln für Seeleute.

„Wie kann ich die Wirbelstürme oder wenigstens ihre gefahrvolle Mitte vermeiden? Wie kann mein Schiff, wenn es in eine Cyclone gerathen ist, sich derselben ohne grossen Schaden entziehen oder vielleicht sogar Nutzen durch sie gewinnen?“ Das sind zwei gewichtige und sehr natürliche Fragen, die jedem praktischen Seemann bei dem Studium der Wirbelstürme sich aufwerfen. Wir wollen ihre Beantwortung versuchen unter sorgfältiger Berücksichtigung der von Reid und Piddington aufgestellten Regeln, indem wir von der folgenden Voraussetzung ausgehen:

Wir nehmen an, dass sich der Wind in concentrischen Kreislinien um die allmälig fortrückende Cyclonenaxe bewege, vernachlässigen also das Einströmen der Luft gegen das Centrum hin, sowie die Abweichungen des äusseren Orkanrandes von der Kreisform.

Wir dürfen und müssen uns mit dieser Annäherung an die Wirklichkeit, durch welche übrigens alle praktischen Regeln wesentlich vereinfacht werden, vorerst begnügen. Denn leider wissen wir nicht, um wie viel durchschnittlich die wahre Windrichtung in den Cyclonen von der hier angenommenen abweicht; wir wissen nur, dass in einzelnen Fällen diese Abweichung 5 bis 10 Grad, also etwa $1/2$ bis 1 Strich betrug, dabei aber an gewissen Seiten des Wirbelsturmes viel bedeutender war, als an den übrigen. Bei keiner neuen, einem Schiffe begegnenden Cyclone aber können wir von vornherein auch nur muthmassen, wie gross jene Abweichung ist. Auch auf das Emporsteigen der Luft im Wirbelsturme brauchen wir hier keine Rücksicht zu nehmen, da es sich

bei Schiffen immer nur um Richtung und Stärke des Sturmwindes an der Meeresfläche handelt. Wir halten es endlich für möglich und sogar für wahrscheinlich, dass alle Cyclonen unten eine ovale Form haben; aber wenn sich auch durch fortgesetzte Beobachtungen diese Abweichung von der Kreisform als Regel herausstellen sollte, so wissen wir ja doch von einer herannahenden Cyclone nicht, ob sie uns ihre schmale oder ihre breitere Seite zukehrt, so dass wir immer wieder zu der obigen Annahme zurückkehren müssen.

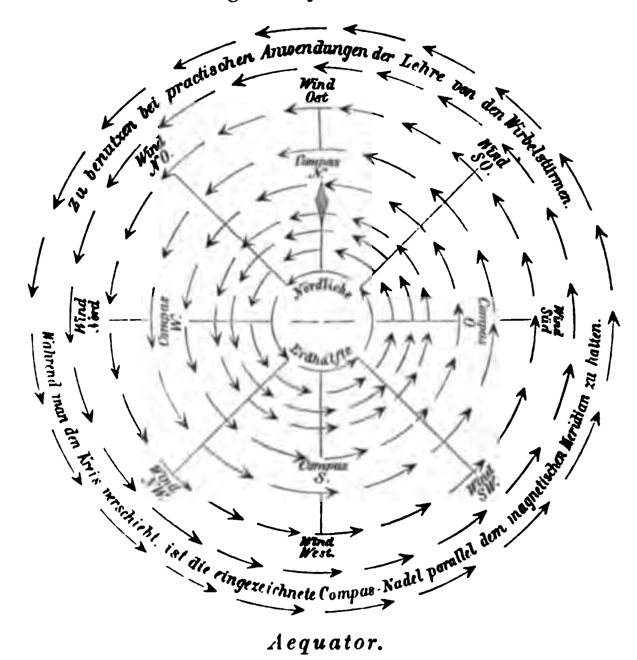
Um der Vorstellung zu Hülfe zu kommen, haben wir aus Reid's Werken zwei solche kreisförmige Wirbelstürme hier beidrucken lassen. Piddington hat ähnliche Figuren auf durchsichtige Hornscheiben zeichnen lassen, und diese „Hornkarten von Stürmen" erleichtern sehr die richtige Auffassung der Cyclonen und die Anwendung der sie betreffenden Regeln. Dieselben Vortheile würden derartige Zeichnungen auf Glas darbieten. Wir empfehlen den Lesern, wenigstens die nebenstehenden, am Ende des Buches wiederholt abgedruckten Papierkreise auszuschneiden, mit Terpentinöl durchscheinend zu machen und dann durch Auflegen und Verschieben auf einer gewöhnlichen Seekarte recht oft bei dem Folgenden zu Rathe zu ziehen.

Diese Cyclonenkreise beweisen uns nun ohne Weiteres die Richtigkeit der folgenden **Haupt-Regel**, welche das Buys-Ballot'sche Gesetz genannt wird, unseres Wissens aber zuerst von Piddington [37c]) aufgestellt wurde:

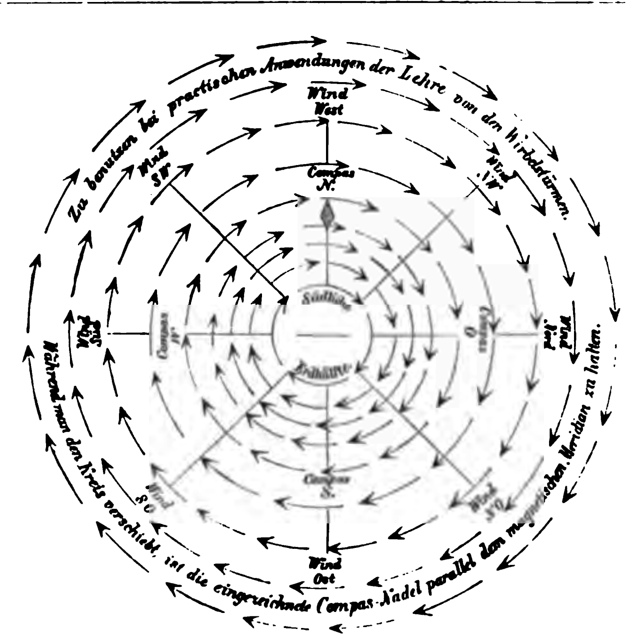
> Kehrt man in einem Wirbelsturme dem Winde den Rücken zu, so befindet sich das Centrum genau zur Linken in der nördlichen und genau zur Rechten in der südlichen Hemisphäre.

Will man jedoch auch auf das Einströmen der Luft nach innen zu Rücksicht nehmen, so ist das Centrum in beiden Erdhälften um einen halben bis zu einem ganzen Strich weiter nach vorne gelegen, als obige Regel angiebt; doch darf wohl in den meisten Fällen diese geringe und nicht einmal ganz sichere Abweichung vernachlässigt werden. — Wir können jene Regel auch wie folgt aussprechen:

> Wenn ein Schiff in einem Wirbelsturme gerade auf das Centrum zufährt, so hat es nördlich vom Aequator den Wind von Backbord und südlich vom Aequator den Wind von Steuerbord.



Aequator.



Zum Gebrauche sind diese Kreise auszuschneiden und mit Terpentinöl durchscheinend zu machen. Sie werden auf Seekarten in der Richtung, nach welcher ein Orkan fortschreitet, verschoben.

Diese wichtige und einfache Regel giebt uns also sofort Aufschluss über die Richtung, in welcher das verderbliche Centrum der Cyclone sich befindet. Setzt z. B. in New-York ein Wirbelsturm mit NO. ein, so befindet sich sein Centrum in südöstlicher Richtung; dreht sich der Wind allmälig nach N., so rückt das Centrum nach einem östlich gelegenen Punkte weiter. Wir wollen nun zunächst annehmen, ein Schiff liege still, vielleicht in sicherem Hafen, während ein Wirbelsturm über dasselbe hinbraust. Es kann dabei vorkommen, dass während der ersten Hälfte des Sturmes die Windrichtung sich nicht ändert; wenn aber das Barometer immer tiefer sinkt und der Wind an Stärke mehr und mehr zunimmt, so kann man sicher sein, dass das Centrum in gerader Linie rechtwinklig zur Windrichtung näher rückt, und dass das Schiff auf seiner Bahn sich befindet. Nachdem der Orkan seine Höhe erreicht hat, wird alsdann bei tiefstem Barometerstand eine Windstille oder ein Flauerwerden des Windes eintreten, worauf der Orkan aus der entgegengesetzten Himmelsgegend wieder losbricht und das Barometer wieder zu steigen beginnt; das Centrum schreitet über das Schiff hinweg und entfernt sich wieder nach der anderen Seite hin. Offenbar hängt der Wind, mit welchem der Orkan im vorliegenden Falle einsetzt oder endet, von dem Kurse ab, welchen das Centrum während seiner fortschreitenden Bewegung einhält. Z. B. ein Wirbelsturm, dessen Centrum ähnlich wie bei No. XIV unserer Karte II von SW. nach NO. über Havana hinwegschreitet, muss mit SO. einsetzen, und dieser Wind springt beim Passiren des Centrums in NW. um; dagegen setzt er mit N. ein und hört mit S. auf, wenn das Centrum wie bei No. XII von O. nach W. über Havana hingeht.

Für ein Schiff, welches nicht auf der Bahn des Centrums selbst liegt, ist die Frage von grosser Wichtigkeit, ob es von der rechten oder von der linken Seite des Wirbelsturmes überstrichen wird. Man hat nun aber das Centrum gerade vor sich, wenn man auf der nördlichen Erdhälfte die linke, und auf der südlichen die rechte Seite dem Winde zukehrt; und wenn man bei dieser Stellung aus der allmäligen Drehung des Windes erkennt, dass jenes Centrum sich von links nach rechts bewegt, so befindet man sich auf der rechten Seite der Cyclone, bewegt sich dagegen das Centrum von rechts nach links, so befindet man sich auf der linken Seite. Im ersteren Falle dreht sich der Beob-

achter allmälig nach rechts, im zweiten Falle dagegen nach links herum; und ebenso dreht sich die Windfahne. Auf diese Weise ergiebt sich die schon früher erwähnte Regel:

> Auf beiden Hemisphären dreht sich die Windfahne in demselben Sinne wie ein Uhrzeiger (also nach rechts herum), wenn die rechte Seite, und im entgegengesetzten Sinne (nach links herum), wenn die linke Seite eines Wirbelsturmes über sie hinwegschreitet.

Dieselbe Regel kann mit Hülfe unserer Sturmkreise bewiesen werden, indem man diese mit ihrer rechten oder linken Hälfte z. B. über eine kleine Insel hinschiebt, und die Winde aufschreibt, von denen dabei die Insel nach und nach getroffen wird. Wenn also bei einem still liegenden Schiffe der Cyclonenwind sich nach rechts dreht, so befindet sich das Schiff auf der rechten Seite der Sturmbahn; dreht sich aber der Wind nach links herum (im Sinne S. O. N. W.), so liegt es links von der Bahn des vorwärts schreitenden Centrums.

Am Meisten ist dem Seemann an einer genauen Orientirung über herannahende Cyclonen gelegen, wenn er nicht in einem sicheren Hafen sich befindet. Hier gilt nun vor Allem das Sprüchwort: „Fore-warned is Fore-armed“ oder „Im Voraus gewarnt, im Voraus gerüstet“; und jeder gute Seemann hat deshalb auf die ersten Anzeichen eines nahenden Wirbelsturmes ein wachsames Auge. Zu denselben gehört selbst bei dem schönsten Wetter ein schwaches aber anhaltendes Fallen des Sympiezometers, eines Instrumentes, welches sehr kleine Aenderungen des Luftdruckes angiebt, die am Barometer noch nicht bemerklich sind; dann ein auffallender, unerklärlicher Seegang und das Sinken des Barometers, dieses unschätzbaren und in den Tropen nie trügenden Instrumentes. In wenigen Stunden ändert sich darauf das Aussehen des Himmels, wie bei jedem anderen Sturme, bis die Cyclone beginnt. Von der schwereren, bedrohlichen Wolkenbank, die in der heissen Zone nicht selten den nahenden Orkan verkündet, haben wir schon wiederholt gesprochen; Piddington hat ausserdem verschiedene Fälle gesammelt, in denen vor Ausbruch des Sturmes der Himmel auffallend roth gefärbt war. Einige Male ist auch ein ungewöhnliches Schwanken der Sterne beobachtet worden, welches wir uns durch die aufsteigenden wärmeren Luftmassen erklären. Auch auf die Richtung und

Geschwindigkeit der Wolken ist sorgfältig Acht zu geben: Wind, Wellen und das Aussehen des Himmels waren es ja, wodurch die berühmten alten Weltumsegler mit bestem Erfolge sich vor den Stürmen warnen liessen, auch wüthen manchmal die Orkane eine Zeitlang in Wolkenhöhe, ehe sie an der Meeresfläche fühlbar werden. Dabei brauchen wir wohl kaum hervorzuheben, dass die ersten Anzeichen der Cyclonen unter verschiedenen Himmelsstrichen verschieden sind.

In einer Cyclone weht, wie wir wissen, am äusseren Rande nur eine starke Briese, weiter innen ein mässiger oder starker Sturmwind und in der Nähe des sturmfreien Centrums ein wüthender Orkan, gegen welchen Nichts Stand hält. Dieses schreckliche Centrum vermeiden zu lehren, ist eine Haupt-Aufgabe der Wissenschaft. Eine Verminderung des Abstandes um wenige Seemeilen kann die Gewalt des Windes ausserordentlich vergrössern, und dazu kommt die furchtbare Kreuz-See, das Durcheinanderlaufen mächtiger Wogen aus verschiedenen Richtungen, wodurch die Nähe des Centrums erst recht gefährlich wird. Schon hieraus geht zur Genüge hervor, welche Wichtigkeit für einen Seemann, der sich von der Nähe einer Cyclone überzeugt hat, die obigen Regeln zur Bestimmung der Lage und Bewegung des Centrums besitzen. Es wäre Millionen werth, wenn wir auch dessen Entfernung durch ebenso einfache Regeln bestimmen könnten; aber in dieser Hinsicht bieten uns nur die Stärke von Wind und Wellen und die Schnelligkeit, mit welcher das Barometer gefallen ist, einige nothdürftige Anhaltspunkte. Bei der ungleichen Heftigkeit und Ausdehnung der Wirbelstürme ist auch leider keine Aussicht, dass jemals sichere Anhaltspunkte gewonnen werden.

Um das Centrum zu vermeiden, muss der Seemann nicht nur dessen augenblickliche Lage, sondern zugleich die Richtung und Geschwindigkeit kennen, mit welcher es fortrückt; er könnte sonst das Unglück haben, nach einer Stelle zu segeln, wohin gerade auch das Centrum fortschreitet. Für Westindien und den Nordatlantischen Ocean giebt uns über den gewöhnlichen Kurs der Cyclonen unsere Karte II ziemlich sichere Auskunft, obgleich selbst dort beachtenswerthe Ausnahmen vorkommen; weniger befriedigend sind die Karten III und IV. Und man vergesse nicht, dass in allen Meeren der heissen und gemässigten Zonen Wirbelstürme vorkommen, von deren Bahnen uns aber

häufig gar nichts bekannt ist. Selbst auf dem scheinbar sturmfreien südöstlichen Theile des Indischen Oceans (Karte IV) hat Piddington Sturmkreise verzeichnet; aber da die Bewegungsrichtung dieser Cyclonen nicht ermittelt werden konnte, so haben wir sie weggelassen. Auf manchen Meeren, wie namentlich auf dem Chinesischen, durchkreuzen sich die Bahnen der Orkane oder Teifuns in regelloser Weise. Aus diesen Gründen ist es durchaus nothwendig, sich in jedem einzelnen Falle genügende Kenntniss von der Bahn des Centrums zu verschaffen. Wie aber ist Dieses einem einzelnen Schiffe möglich, noch dazu, wenn es selbst in Bewegung ist?

Man kann zunächst für verschiedene Zeitpunkte die Lage des Schiffes ziemlich genau auf der Seekarte angeben, da man den Kurs und die Geschwindigkeit desselben kennt. Für jeden dieser Zeitpunkte verzeichne man ausserdem nach den oben aufgestellten Regeln die Richtung, in welcher das Centrum liegt, und nehme dessen Entfernung nach einer ungefähren Schätzung in dieser Richtung an, jedoch um so kleiner, je stärker der Wind ist und je tiefer das Barometer unter seinen gewöhnlichen Stand gesunken ist. Auf diese Weise erhält man nach und nach verschiedene, wenn auch nur annähernd richtige Lagen für das gefährliche Centrum, sowie die ungefähre Richtung und Geschwindigkeit seiner fortschreitenden Bewegung. Hat man z. B. Anfangs die Entfernung des Centrums zu 200 Seemeilen angenommen, und ist sodann das Barometer gefallen bei zunehmendem Sturmwinde, so ist mit gutem Grunde anzunehmen, dass das Centrum näher an das Schiff herangerückt ist; bleiben Wind und Barometerstand unverändert, so haben Schiff und Sturmcentrum wahrscheinlich gleichen Kurs und gleiche Geschwindigkeit. Absolute Genauigkeit kann man natürlich von derartigen Bestimmungen nicht verlangen, ist auch bei der sehr verschiedenen Stärke und Ausdehnung der Cyclonen nicht möglich. Jedenfalls aber genügt diese Methode, um zu erfahren, ob das Schiff auf der vorderen oder hinteren Hälfte, auf der rechten oder linken Seite des Wirbelsturmes sich befindet, und für jeden dieser Fälle ergeben sich die weiteren Regeln für die Lenkung des Schiffes fast von selbst.

Die Anwendung dieser Regeln hängt natürlich wesentlich davon ab, ob das Schiff genügenden Seeraum hat, sowie auch von seiner Seetüchtigkeit; und diese letztere wird nicht nur durch die Bauart des Schiffes, sondern auch durch den Grad seiner

Beladung und durch die mehr oder weniger geschickte Stauung der Ladung bedingt. Manche Schiffe dürfen bei schwerem Wetter nicht wagen, zu lenssen, d. h. platt vor dem Winde zu laufen, während sie beigedreht ganz gut liegen. In dem Berichte der Arkona haben wir oben gelesen, dass diese Corvette wegen der Nähe des Landes nicht von der Kenntniss jener Regeln Gebrauch machen konnte, um so ohne Benutzung der Dampfkraft dem Teifun sich zu entziehen. Bei Anwendung der Regeln kommen noch andere Rücksichten in Betracht; namentlich will kein Capitain gerne Zeit verlieren oder sich von seinem eigentlichen Kurse weit entfernen. Aber die Hauptrücksicht muss immer die auf das Leben der Mannschaft und auf die Sicherheit von Schiff und Ladung sein und bleiben. Selbst bei Anfangs günstigem Winde ist der nächste Kurs in einem Wirbelsturme nicht immer der kürzeste und beste, und ein kurzer Aufenthalt oder ein kleiner Umweg zur rechten Zeit kann manchmal Schiff und Leute vom sicheren Verderben retten. Mit Recht fragt Piddington: „Was will eine gute Fahrt von wenigen Stunden bedeuten gegenüber dem Verluste einer einzigen Stenge?"

Wenn ein Schiff sich in der hinteren Hälfte einer Cyclone befindet, so darf es vor Allem nicht zu weit hineinlaufen; es muss nach derjenigen Seite zu kommen suchen, wo der Wind seinem Kurse günstig ist, und wenn dieses nicht angeht, muss es beilegen. Es kommt nicht selten vor, dass Schiffe von hinten in langsam fortschreitende Cyclonen hineinfahren; durch das tolle Durcheinander der Wogen, durch den gefährlichen Seegang, den der Wirbelsturm hinter sich zurücklässt, sollten sie sich rechtzeitig warnen lassen, ebenso durch die langen Rollwellen, welche vom Sturme manchmal auf grosse Entfernungen auch nach hinten gesandt werden.

Hat das Schiff den gleichen Kurs wie die Cyclone, und befindet es sich auf derjenigen Seite, wo der Wind ihm günstig ist, so ist dafür zu sorgen, dass es nicht vorausläuft und zu weit in die vordere Orkanhälfte geräth, und dass es nicht zu tief in die Mitte hineinsteuert. Herrscht dagegen der günstige Wind auf der anderen Seite und ist die vordere Hälfte der Cyclone zu passiren, so muss man sich vorher überzeugen, dass dazu noch Zeit ist; anderseits darf man dem Centrum nicht zu nahe kommen, wenn man auf der hinteren Hälfte hinüber geht. Auf beiden Seiten der Cyclone kann übrigens ein Schiff, welches etwas zu weit

hineingerathen ist, in der Regel ein Wenig nach aussen halten oder auf ein paar Stunden beidrehen, um besseres Wetter zu bekommen.

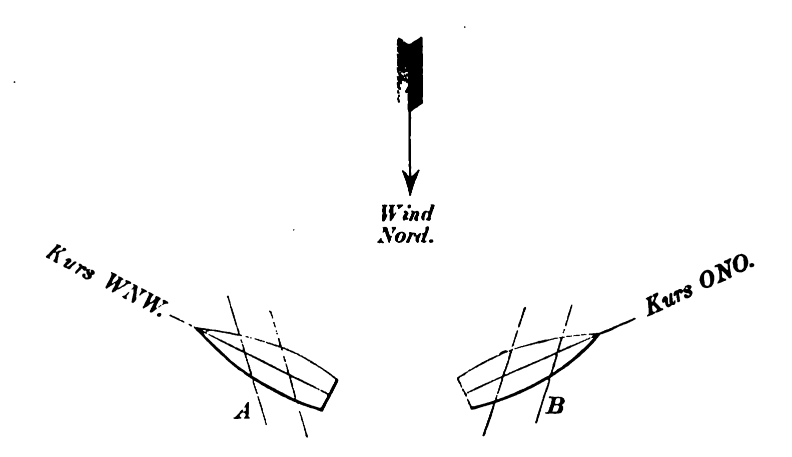
Befindet sich das Schiff vor einer Cyclone und ist es nicht schon zu spät, so kann es wenigstens dem allerschlimmsten, orkanartigen Theile aus dem Wege gehen, oder es muss, wenn es anders die See nicht halten kann, beidrehen. Wenn sich das sturmfreie Centrum gar nicht vermeiden lässt, so muss man das Schiff jedenfalls so zu drehen suchen, dass es den nachfolgenden Sturmwind nicht plötzlich von vorn bekommt; denn Das ist im Sturme bekanntlich sehr gefährlich.

Piddington, dem wir diese Regeln verdanken, hofft, dass das „Cyclonen-Segeln“ in kurzer Zeit einen anerkannten Theil der Geschicklichkeit eines jeden guten Seemanns bilden werde. Er sagt u. A. [37c]): „Im südlichen Indischen Ocean sind die Wirbelstürme jetzt manchen Capitainen wohlbekannt, und dieselben machen capitale Fahrten nach Indien und Australien, indem sie nach ihnen aussehen; finden sie einen solchen geeignet, um zur Nordseite seiner Bahn hinüberzugehen, so halten sie sich auf dieser Seite, welche ihnen einen stetigen und steifen westlichen Wind giebt, jedoch in solcher Entfernung vom Centrum, dass sie sicher vor dem Winde laufen können. Das nennt man dann einen Cyclonen-Ritt (taking a ride upon a Cyclone).“

An einer anderen Stelle [37b]) giebt uns Piddington von solchem Cyclonenritt ein Beispiel. Nämlich Capitain Erskine, wohlbekannt mit den Gesetzen der Wirbelstürme, liess das von ihm befehligte Kriegsschiff Havannah mit gutem Vorbedacht fünf Tage lang von der Nordhälfte der Cyclone *G* unserer Karte IV vorwärts treiben. Indem er sich nördlich vom 39. Breitengrade hielt, legte er vom 17. bis zum 21. Juli 1848 nicht weniger als 1185 Seemeilen zurück, machte also nahezu acht Knoten durchschnittlich. Zu der Fahrt vom Cap der guten Hoffnung durch die Bass-Strasse nach Sidney brauchte er nur die ungewöhnlich kurze Zeit von 34 Tagen. Als Capitain Erskine in der Nacht des 17. Juli auf anderthalb Stunden beidrehte, um das Sturmcentrum am Schiffe vorbeigehen zu lassen, stieg das Barometer sogleich; hernach hielt es sich eine Zeit lang auf gleicher Höhe, während er mit dem Sturme gleichen Schritt hielt, und schliesslich am 21. lief das Schiff der Cyclone voraus.

In heftigen Stürmen bleibt den Schiffen oft nichts Anderes

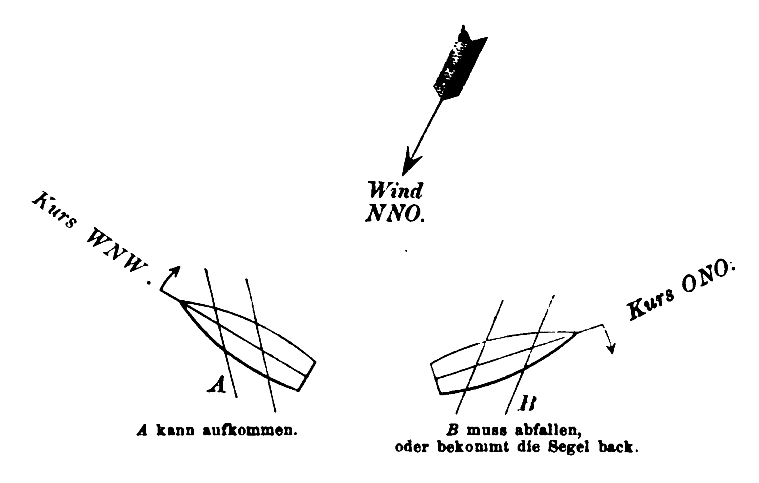
übrig, als beizudrehen, d. h. sie legen sich mit scharf angebrassten Raaen so, dass der Wind sechs Strich (oder 67½ Grad) von vorn einkommt. Beigedreht liegen kann nun aber ein Schiff entweder „auf Steuerbordhalsen“, so dass es den Wind von Steuerbord (rechts) hat, oder „auf Backbordhalsen“, so dass es den Wind von Backbord (links) hat. Sind z. B. Wind und Seegang nördlich,



wie in vorstehender Figur, so liegt das Schiff *A*, welches sein Bugspriet nach WNW. kehrt, auf Steuerbordhalsen, und das Schiff *B* auf Backbordhalsen bei; oder *A* liegt nach Backbord über (liegt „über Backbord“), weil dieses seine Leh, d. h. niedrige Seite ist, und *B* liegt „über Steuerbord“. Für den Seemann ist nun die Frage überaus wichtig, ob er auf Steuerbordhalsen wie *A*, oder auf Backbordhalsen wie *B* beidrehen soll, und schon unzählige gute Schiffe sind durch verkehrtes Beidrehen zu Grunde gerichtet worden. Es ist Reid's unsterbliches Verdienst, hierüber für die Wirbelstürme zuerst einfache Regeln aufgestellt und in leicht verständlicher Weise begründet zu haben.

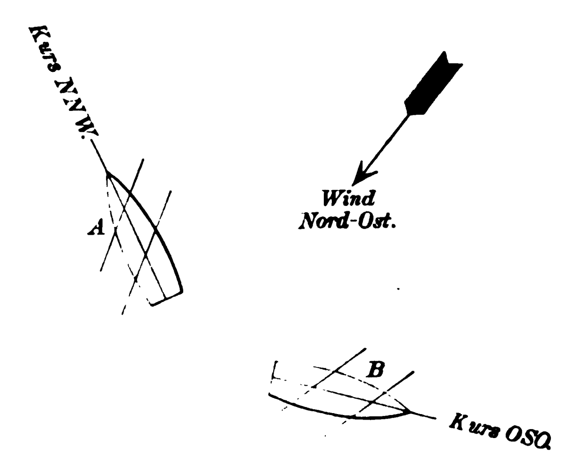
Gesetzt nämlich, der anfängliche Nordwind laufe nach NNO. und NO. herum, so wird er für das Schiff *B* „schralen“ und dasselbe muss nach O. und OSO. hin „abfallen“; für *A* dagegen wird der Wind „raumen“, und dieses Schiff kann deshalb „luven“ oder „aufkommen“, so dass sein Kurs allmälig NW. und NNW. wird. Das Schiff *A* befindet sich dabei aus zwei sehr wesentlichen Gründen in einer besseren und gesicherteren Lage als *B*. Nämlich erstens kann *B*, wenn der Wind nicht allmälig sich dreht, sondern

plötzlich umspringt, seine Segel back bekommen, d. h. der Wind kann von vorn in die Segel fallen, was bei Sturm eine sehr ge-



A kann aufkommen. *B* muss abfallen, oder bekommt die Segel back.

fährliche Sache ist; und auch ohne Segel ist der Druck eines Orkanes auf Masten und Raaen stark genug, um ähnliche bedenk-



liche Verhältnisse zu erzeugen. Zweitens aber wird *B* den Seegang, welcher auch nach der Drehung des Windes noch längere Zeit aus Norden kommt, „dwars" von der Seite einbekommen und in Folge dessen schwere Seeen überzunehmen geneigt sein, während *A* den Seegang bei weiterer Drehung immer mehr von vorn hat, was ganz sicher ist. Seeen von vorn schaden nicht

viel; Sturzseeen von der Seite dagegen können Alles zertrümmern und von Deck schwemmen. — Wenn der anfängliche Nordwind sich nach Westen hin drehte, so würde aus denselben Gründen *A* in einer gefährlicheren Lage als *B* sich befinden.*)

Da wir nun wissen, dass in beiden Hemisphären die Windfahne sich im Sinne N. O. S. W. dreht, wenn die rechte Seite, und im Sinne N. W. S. O., wenn die linke Seite eines Wirbelsturmes über sie hinwegschreitet, so ergiebt sich von selbst die Richtigkeit des folgenden Satzes:

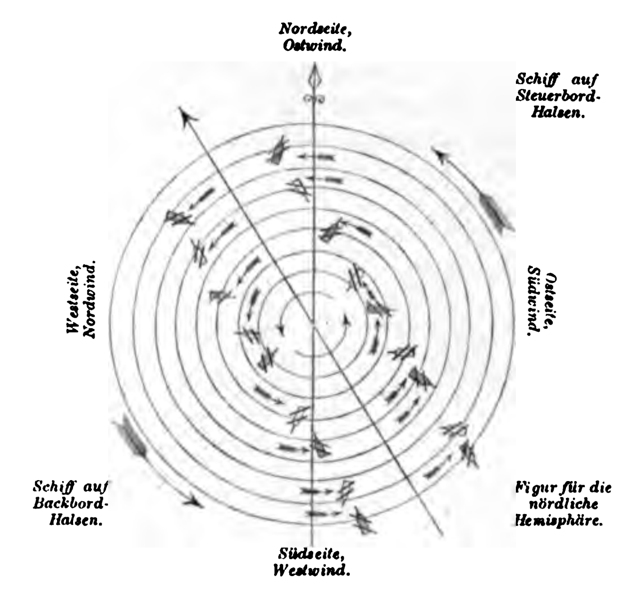
> Wenn man in einem Wirbelsturme so beidrehen will, dass das Schiff bei der Drehung des Windes nicht abfällt, sondern im Luven bleibt, so gilt die Regel:
>
> „Befindet man sich auf der rechten Seite der Sturmbahn, so hat man auf Steuerbordhalsen beizulegen; und befindet man sich auf der linken Seite der Sturmbahn, so hat man auf Backbordhalsen beizulegen.“

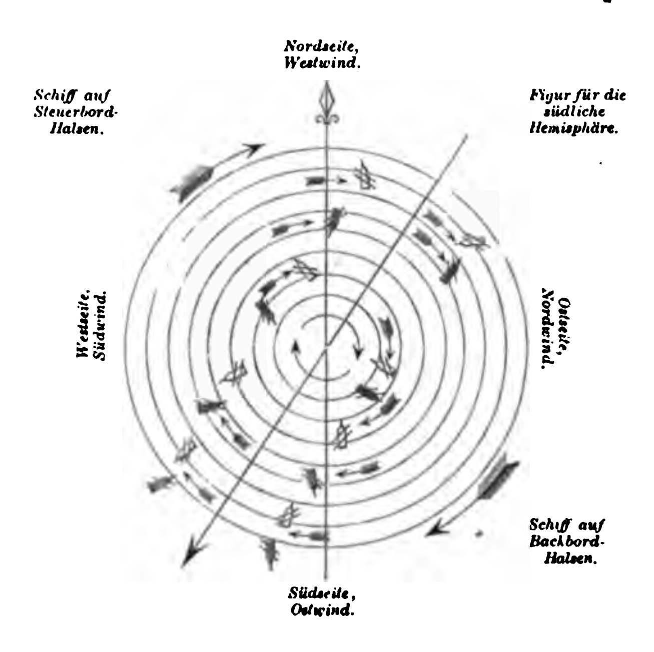
Dieses ist die schöne Regel von Reid, die allein, ganz abgesehen von seinen übrigen grossen Verdiensten, ihm den Dank der seefahrenden Nationen sichert.

Reid selbst erläutert seine Regel durch die gegenüberstehenden Figuren. Dieselben stellen die verschiedenen Lagen dar, in welche ein beigedrehtes Schiff allmälig kommt, wenn ein Wirbelsturm über dasselbe in der Richtung des langen, geraden Pfeiles hinwegschreitet. Die schwarzen Schiffe sind richtig beigedreht, und bleiben, wie man sieht, im Luven; die weissen Schiffe dagegen fallen ab, weil sie verkehrt beigedreht sind.

Zugleich aber macht Reid [36b]) auf einen Umstand aufmerksam, welcher Abweichungen von seiner Regel nothwendig machen kann. Nämlich in der Figur für die nördliche Hemisphäre weisen auf der linken Seite, und in derjenigen für die südliche Erdhälfte weisen auf der rechten Seite der Cyclone die schwarzen Schiffe mit ihrem Bugspriet nach dem Sturmcentrum hin; wenn sie also vorwärts laufen, so nähern sie sich dem Centrum. Unter Umständen kann deshalb für das Beidrehen in Wirbelstürmen die allgemeine Regel den Vorzug verdienen, dass man nördlich vom

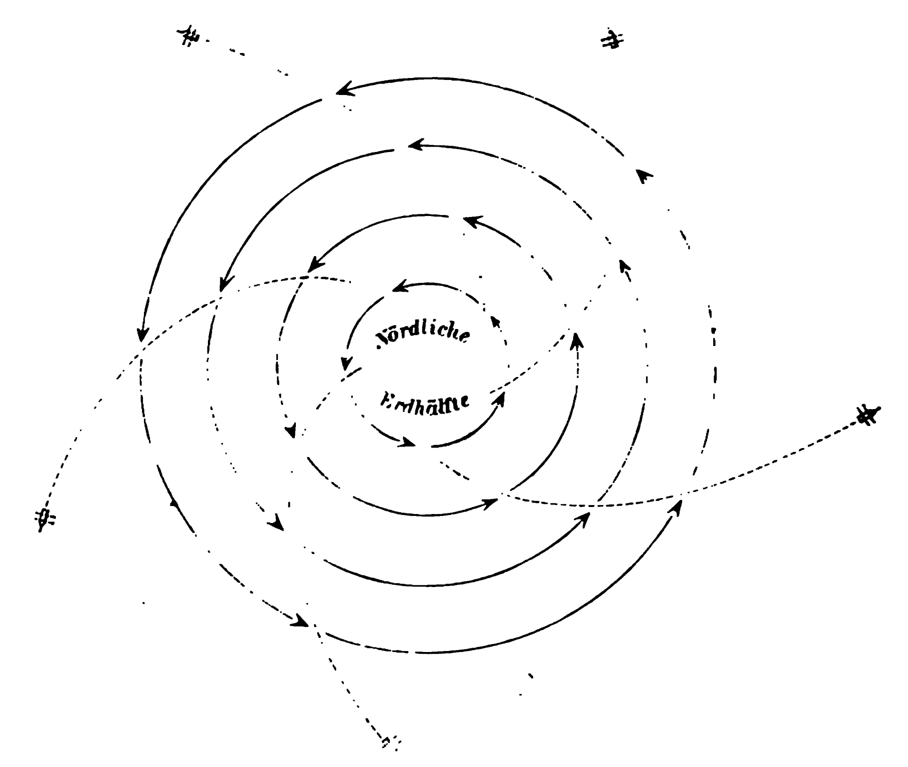
*) Für diese einfache Auseinandersetzung und namentlich auch für die darin vorkommenden seemannischen Ausdrücke bin ich meinem Freunde Dr. Romberg in Bremen zu bestem Danke verpflichtet.


Nordseite,
Ostwind.
Schiff auf
Steuerbord-
Halsen.
Westseite,
Nordwind.
Ostseite,
Südwind.
Schiff auf
Backbord-
Halsen.
Figur für die
nördliche
Hemisphäre.
Südseite,
Westwind.


Nordseite,
Westwind.
Schiff auf
Steuerbord-
Halsen.
Figur für die
südliche
Hemisphäre.
Westseite,
Südwind.
Ostseite,
Nordwind.
Schiff auf
Backbord-
Halsen.
Südseite,
Ostwind.

Aequator auf Steuerbordhalsen und südlich vom Aequator auf Backbordhalsen beidreht. Wenn dann die Schiffe vorwärts schiessen, entfernen sie sich allmälig vom Sturmcentrum.

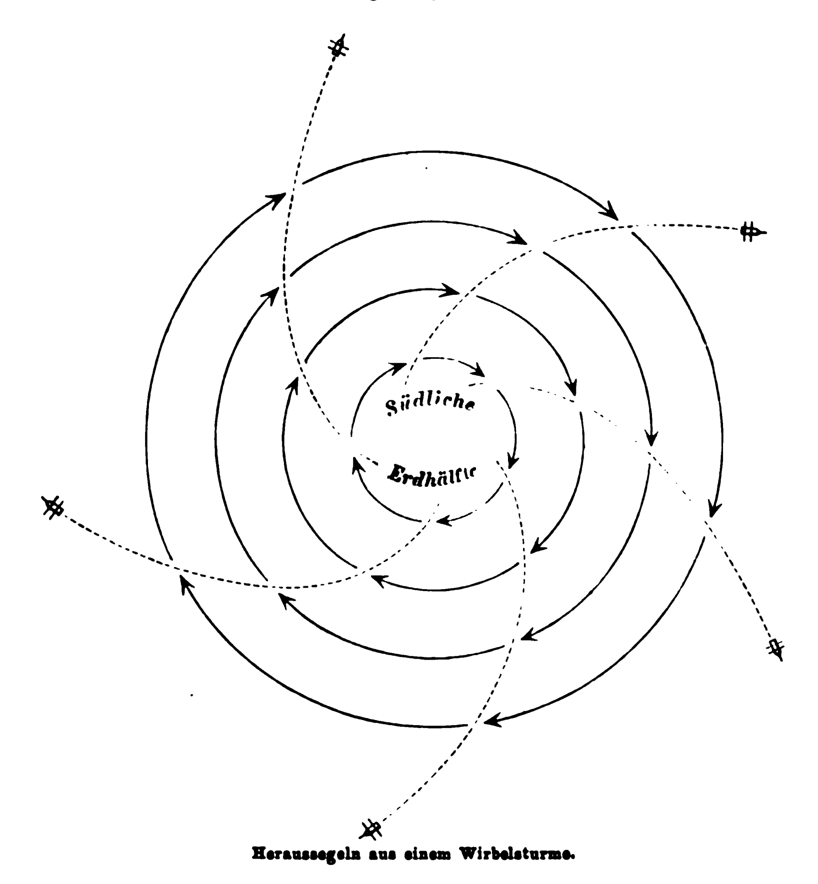
Ueberhaupt segelt ein Schiff aus einem Wirbelsturme heraus, wenn es in nördlichen Breiten den Sturmwind von Steuerbord



Heraussegeln aus einem Wirbelsturme.

und in südlichen Breiten denselben von Backbord hat. Reid hat diese leichte Regel, welche eigentlich nur ein anderer Ausdruck unserer früheren Regel zur Bestimmung des Centrums ist, durch beistehende, für stationäre Cyclonen geltende Figuren erläutert. Leider stehen ihrer Anwendung bei heftigem Sturm und hohem Seegange sehr häufig grosse Bedenken entgegen. Und wenn von ihr Gebrauch gemacht wird, so ist Sorge zu tragen, dass das Schiff nicht in das sogenannte gefährliche Viertel des Wirbelsturmes und vor das vorwärts rückende Centrum geräth. Dieses gefährliche Viertel liegt in den Cyclonen der nördlichen Erdhälfte

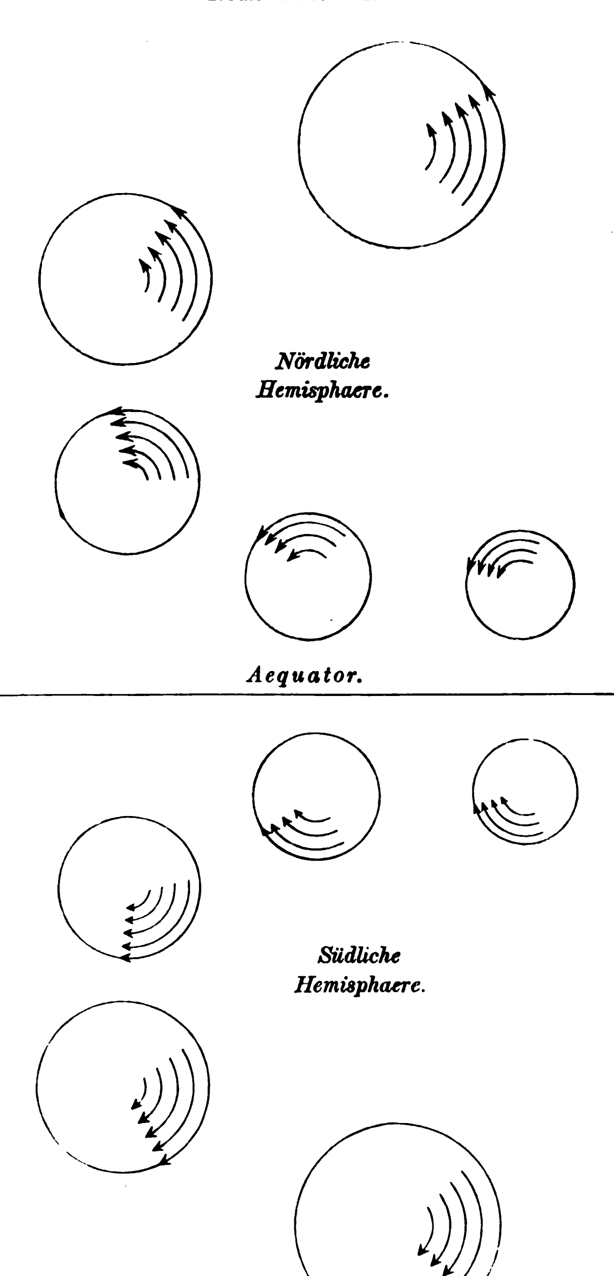
vorne auf der rechten Seite, und in denjenigen der südlichen Erdhälfte vorne auf der linken Seite; es ist dasjenige Orkanviertel, in welchem das Lenssen besonders riskant ist, weil daselbst ein platt vor dem Winde laufendes S hiff gerade vor das Centrum und auf die Bahn desselben gelangt. Zur Erläuterung möge das



Heraussegeln aus einem Wirbelsturme.

umstehende Diagramm dienen, in welchem die gefährlichen Viertel einer Cyclone, für verschiedene Lagen derselben auf ihrer parabolischen Bahn, schattirt sind.

Einen wahrhaft fürchterlichen Beleg für die Wichtigkeit der Reid'schen Regel bildet der denkwürdige Verlust nicht allein der Priesen, welche Rodney am 1. April 1782 gemacht hatte, sondern auch einer sehr grossen Anzahl von Kauffahrern und fast aller Kriegsschiffe, welche die Flotte geleiteten. Am 16. September 1782



Das gefährlichste Viertel eines Wirbelsturmes.

nämlich wurden die Britischen Kriegsschiffe Ramilies, Canada und Centaur, jedes von 74 Kanonen, ferner die Priesenschiffe Pallas und Ville de Paris von 110 Kanonen, Glorieux und Hector von 74, Ardent und Caton von 64 Kanonen jedes, sowie endlich eine Handelsflotte von 92 bis 93 Segeln von einem Wirbelsturme ereilt, welcher aus OSO. blies und rasch zunahm. Die Flotte bereitete sich vollständig vor auf schlechtes Wetter und drehte bei, jedoch leider auf Steuerbordhalsen, was verkehrt war; denn am 17. September um 2 Uhr früh bekam in etwa $42^1/_2{}^0$ N. Br. und $48^1/_2{}^0$ W. L. die ganze Flotte die Segel back, indem der Wind, offenbar mit schrecklicher Gewalt, plötzlich nach NNW. umsprang. Der Ramilies, des Admirals Graves Flaggenschiff, verlor von allen drei Masten die Stengen, nahm von hinten Sturzseeen über und war offenbar in Gefahr, mit dem Hintertheil voran zu Grund zu gehen; und der folgende Tag zeigte, dass vielen von den Kriegsschiffen und Kauffahrern eben so übel mitgespielt war, denn da waren „Nothsignale überall". Die Cyclone tobte noch länger aus NW., und verliess nicht eher die hülflose Flotte, als bis die sämmtlichen Kriegsschiffe mit Ausnahme des Canada gesunken oder aufgegeben und zerstört waren, zugleich aber ein so grosser Theil der Kauffahrtei-Schiffe, dass dieses für einen der allergrössten auf dem Meere vorgekommenen Unglücksfälle gehalten wird. Man schätzt allein die verunglückten Seeleute auf mehr als dreitausend Mann! — Piddington [37b]) begleitet diese Schilderung mit folgenden Bemerkungen:

„Wenn auch allerdings sowohl die Kriegsschiffe als auch die Priesen in einem kläglichen Zustande sich befanden, so haben doch ohne Zweifel die schrecklichen Stösse, die Folgen des Verlustes von Masten, des Uebernehmens der Sturzseeen von hinten und dergleichen mehr ihre Gefahr nicht wenig vergrössert; denn es wird berichtet, dass am Centaur der Admiral durch den Stoss aus seiner Hängematte geschleudert wurde! Wäre die Flotte mit dem OSO.-Winde nur einige fünfzig oder hundert Seemeilen nach Norden gesegelt, so würde das Centrum an ihr vorbei gegangen sein, ohne sie zu erreichen; und hätte sie auf Backbordhalsen beigedreht (denn sie befand sich auf der linken Seite der Sturmbahn), so würde sie einen gewöhnlichen Sturm bekommen haben, der für sie ‚raumte', bis er schliesslich als WNW. oder als günstiger Wind endete."

Die Arbeiten von Redfield, Piddington, Reid und Thom ent-

halten noch viele lehrreiche Beispiele von werthvollen Schiffen, die wegen Unkenntniss der in Wirbelstürmen herrschenden Gesetze zu Grunde gingen oder schwere Haverie erlitten, obgleich sie wahrscheinlich leicht hätten gerettet werden können. Aber erfreulicher dürfte es sein, wenn wir dieses Buch mit einigen Berichten tüchtiger Seeleute schliessen, welche die Natur der Cyclonen genau kannten und ihnen entweder aus dem Wege gingen oder sie zu raschen Fahrten benutzten. Wir geben zunächst einen Auszug aus einem an Redfield [35 p]) gerichteten Briefe des Americanischen Commodore Rodgers. Derselbe lautet:

„Ich weiss nicht, ob meine Wetter-Notizen von Werth sind für den Teifun, welchen der Mississippi am 7. October 1854 durchmachte. Am 23. September vor diesem Teifun waren wir im Chinesischen Meere in 21° 44′ N. Br. und 119° 17′ O. L. Das Wetter war sehr drohend. Wir hielten nach Süden zu, und eine schwarze Wolke stand vor uns, lebhaft blitzend, mit sich kreuzendem, heftigem Seegang, mit schwerem Regen und plötzlichen Windstössen, die immer häufiger und stärker wurden. Ich erwog, dass wir eine Cyclone vor uns sahen, und dass wir ihrer Gewalt entgehen würden, wenn wir von ihr weg segelten. Wir hielten nordwärts; und bald stieg das Barometer und mässigte sich der Wind.

„Bei den Bonin-Inseln hatten wir am 28. October 1854 einen Teifun. Der Hafen von Port Lloyd wird vom Krater eines erloschenen Vulkanes gebildet; die Ufer erheben sich steil über das Wasser zu einer Höhe von etwa 1200 Fuss. Sie werden deshalb leicht begreifen, dass der Ankerplatz in hohem Grade vor der Wuth des Windes geschützt sein muss. Dennoch wehte es fürchterlich. Alle Blätter wurden von den Bäumen abgestreift, alle Vegetation wurde vernichtet und selbst die frischen Kartoffelpflanzungen in den geschützten Thälern wurden zerstört. Da ich zuerst nicht glauben konnte, dass der Wind sie zerstört habe, so schrieb ich ihr Welken und Schwarzwerden einer unsichtbaren electrischen Wirkung zu.*) Hernach kam ich zu dem Schlusse, dass der Wind ihre Saftgefässe verdreht und zerrissen, und so ihre Lebensfähigkeit vernichtet habe.“ (Das Barometer fiel und stieg während dieses Orkanes in 36 Stunden um 1.4 Zoll Engl.)

*) Auch auf den Nordsee-Inseln Sylt und Föhr erstirbt manchmal mitten im Sommer alles Laub in Folge der NW.-Stürme. D. Verf.

„Dieser Sturm war nicht so markirt, dass er deutliche Warnungszeichen von seiner Annäherung gegeben hätte. Am Abend vor dem Orkan brach die Brandung heftiger auf die Hafenmündung ein, als ich sie je gesehen hatte. Wären wir auf See gewesen, so zweifle ich kaum, dass wir von seinem Herannahen Kenntniss gehabt hätten...

„Am 9. November 1854 hatten wir in 28° 22′ N. Br., 143° 45′ O. L. einen Sturm, den ich für den äusseren Rand eines Teifun hielt. Wir liefen hinein, bis ich mich von seinem Character überzeugt hatte, und dann drehten wir das Schiff auf Steuerbordhalsen bei, indem wir von ihm ab hielten. Bald stieg das Barometer und besserte sich das Wetter...

„In dem von mir befehligten Dampfer John Hancock befanden wir uns am 20. Mai 1854 am Rande eines Teifun. Das Wetter war nicht arg, aber eigenthümlich waren die Seeen, welche zu scharfen Kegeln sich erhoben und nach allen Richtungen liefen. Ueberall schlugen sie an das Schiff, sowohl von der Leh- als auch von der Wetterseite. Den Officieren an Bord bemerkte ich, ich sei versichert, dass wir auf dem Rande eines Teifun seien; doch beunruhigte es mich nicht. Ich schloss, dass wir uns hinter demselben befänden, und dass wir unsere Entfernung von ihm vergrössern würden, wenn wir das Schiff von ihm weghielten.

„Wir steuerten in einer frischen Bö etwa fünfzehn Minuten lang abseits und nahmen dann wieder unseren Kurs auf; wir liefen mit günstigem Winde weiter. Ich äusserte den Wunsch, zu erfahren, wie es einem Fahrzeuge etwa ein- bis zweihundert Seemeilen nordöstlich von uns erginge. Diese Neugier wurde befriedigt durch den beifolgenden Auszug aus dem Tagebuch des Britischen Schiffes Harkura. — Teifuns sind selten in den Chinesischen Gewässern während des Maimonates; deshalb ist dieser nicht ohne Interesse."

An demselben Tage gerieth die Harkura, ein grosser schöner Ostindienfahrer, etwa 195 Seemeilen vom John Hancock entfernt, unter 15° N. Br. und 112° 20′ O. L. in das Centrum des von Commodore Rodgers vermiedenen Teifun. Während der halbstündigen Windstille stand daselbst das Barometer nur auf 27 ½ Zoll Engl.; der Sturmwind, vorher NO., sprang am Ende der Windstille plötzlich nach NW. um, und drehte sich dann eine Stunde später nach W. und SW. Schwer beschädigt und unter Nothmasten langte das Schiff am 11. Juni wieder in Hongkong

an, von wo es am 16. Mai 1854 ausgelaufen war. Hätte sein Capitain durch das erste Fallen seines Barometers, durch eine von ihm im SO. wahrgenommene schwere Wolkenbank und durch die, schon vor Ausbruch des Sturmes unregelmässige und hohe See sich warnen lassen, und aus der Windrichtung den Schluss gezogen, dass nahebei im SO. ein Teifun wüthe, so hätte er, wie Redfield nachweist, jeden Schaden vermeiden können. Statt dessen hielt er bei fortwährendem NO.-Wind und fallendem Barometer seinen Kurs fest, und steuerte, wie so manche Andere vor ihm, geradesweges in das Herz der Cyclone.

Ein Beispiel, wie die Wirbelstürme zu schnellen Fahrten benutzt werden können, überliefert uns Reid.[36b] Am 24. October 1842 ging das Centrum einer Cyclone von Osten nach Westen über Pondicherry hin, mit der nördlichen Seite Madras und mit der südlichen Nagore streifend. Die Lady Clifford, Capitain Miller, lag in Nagore vor Anker und war nach Madras bestimmt. Am 23. October war das Wetter schön, der Himmel klar und das Barometer stand auf 30''.05; gegen Abend zog sich eine dicke Wolke in NO. zusammen und ein hohler Seegang begann aus jener Richtung. Um Mitternacht trat leichter Wind ein; derselbe drehte sich nach NW., während die Dünung aus NO. zunahm und der Himmel sich überzog bei fallendem Barometer. Bei Tagesanbruch am 24. fiel das Barometer noch immer, die dicke Wolkenbank im NO. wurde grösser und düsterer und der Seegang von dorther nahm noch mehr zu. Um 7 Uhr lichtete Capitain Miller die Anker und ging in See und zwar nach NO. hin. So segelte er gegen den Sturm zu und kürzte seine Segel, je näher er ihm kam, bis „er gerade noch eben vor dem SW.-Wind steuern konnte mit dichtgerefften Marssegeln, beschlagenen Segeln und den Bramstengen auf Deck“; und geleitet von seinem Barometer und seiner genauen Kenntniss der Wirbelstürme ankerte er am 26. October, 6 Uhr Abends, auf der Rhede von Madras. Auf diese Weise segelte er um die östliche, hintere Hälfte der Cyclone herum, wobei der Wind sich von WNW. durch W. und S. nach SO. drehte. Diese Fahrt wurde zur Zeit des NO.-Monsuns ausgeführt, und unter gewöhnlichen Umständen wäre sie sehr langwierig gewesen. Reid weist bei dieser Gelegenheit auf die Vortheile hin, welche ein Schiff erzielen kann, wenn es bei dem Zusammentreffen mit Wirbelstürmen auf krummlinigen Kursen segelt.

Wir haben oben hervorgehoben, dass Abweichungen von Reid's

Regel nöthig werden können, wenn man Gefahr läuft, in allzugrosse Nähe des Centrums getrieben zu werden. Wir finden bei Reid[36 b]) selbst ein Beispiel hiefür in einem Teifun, welcher von Manila her, aus SO., über das Chinesische Meer hinwegschritt. Capitain Hall von der Bark Black Nymph giebt darüber den folgenden interessanten Bericht:

„Als wir nur noch drei oder vier Segeltage von Macao entfernt waren, bemerkte ich um Mittag einen höchst seltsamen und ungewöhnlichen Hof um die Sonne. Der andere Tag begann mit leichten Windstössen, ebenem Wasser aber starkem Kräuseln desselben. Der Nachmittag war merkwürdig schön; als ich aber meine Augen auf das Barometer warf, sah ich, dass es seit Mittag beträchtlich gefallen war. Zuerst dachte ich, es habe sich Jemand damit zu thun gemacht; doch als ich nach einer halben Stunde wieder nachsah, überzeugte ich mich, dass es rasch falle. Noch schien das Wetter sehr schön und es dünkte mich sonderbar; aber ich war geneigt, meinem alten Freunde zu trauen, welcher durch zeitige Warnungen mir früher manches Segel und manche Stenge gerettet und mich oft in den Stand gesetzt hatte, über eine übel aussehende Nacht wegzukommen. Bei dieser Gelegenheit zeigte er sich des Vertrauens würdig, und ich würde es zu bedauern gehabt haben, wenn ich seine Warnung nicht beachtet und nur dem äussern Schein vertraut hätte.“ Als deshalb um 3 Uhr das Barometer noch immer fiel, liess Capitain Hall trotz des fortdauernd schönen Wetters das Schiff auf einen schweren Sturm vorbereiten.

„Ich kann wohl sagen, dass meine Theerjacken alle diese Vorkehrungen an einem schönen Nachmittag für eine spasshafte Arbeit hielten, und einige von ihnen schauten wettermässig herum, um den Grund zu errathen; aber in wenigen Stunden wurden die ungläubigsten von der Klugheit der Vorbereitungen überzeugt. Stille folgte dem Lärmen, und als das Barometer noch fiel, so sagte ich mir: ‚Jetzt kommt wirklich einer dieser Teifuns‘; und da ich früher diesem Gegenstande einige Aufmerksamkeit geschenkt hatte, so sah ich seiner Ankunft mit einer Mischung von Besorgniss und Neugier entgegen.

„Gegen Abend bemerkte ich eine Wolkenbank in SO. Die Nacht brach ein, und das Wasser blieb glatt; aber der Himmel sah wild aus, indem fliegende Wolken aus NO. kamen; der Wind war Nord. Mit grossem Interesse wartete ich auf den Beginn

des Sturmes, welcher, wie ich jetzt mich versichert fühlte, herankam; die Richtigkeit der Theorie vorausgesetzt, musste er meine Lage hinsichtlich seines Centrums angeben.

„Jene Bank in SO. muss das näher rückende Meteor gewesen sein, die fliegenden Sturmwolken aus NO. sein äusserer nordwestlicher Theil; und als Nachts ein starker Sturmwind aus N. oder NNW. kam, war ich sicher, dass wir uns an seinem südwestlichen Rande befanden. Er nahm schnell an Heftigkeit zu, aber ich freute mich zu sehen, dass der Wind sich nach NW. drehte; denn dieses überzeugte mich, dass ich das Schiff richtig beigedreht hatte, nämlich auf Steuerbordhalsen, so dass es sein Bugspriet nach SW. kehrte.

„Von 10 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags wehte es mit grosser Heftigkeit, aber das gut vorbereitete Schiff ritt verhältnissmässig leicht. Das Barometer stand jetzt sehr tief, der Wind war ungefähr WNW., da das Sturmcentrum ohne Zweifel nördlich an uns vorbeiging; wir hätten demselben sehr nahe kommen können, wenn wir Anfangs das Schiff auf Backbordhalsen beigelegt und nach NO. gegen das Centrum hin gedreht hätten, anstatt auf Steuerbordhalsen nach SW., der entgegengesetzten Richtung.

„Um 5 Uhr Nachmittags Wind WSW. merklich abnehmend und Barometer steigend. Um 6 frischer, steifer Wind, wir setzten Segel auf, damit das Schiff nicht schlingere; sehr hohe See, gegen Mitternacht gemässigter Sturm. Da der Wind jetzt SW. bis SSW. geworden war, so fiel das Schiff ab nach SO. Ich hielt es für schade, so weit aus unserem Kurse zu liegen, drehte deshalb nach SW. und setzte Segel auf; aber in weniger als zwei Stunden kamen schwere Böen und das Barometer begann wieder zu fallen. Natürlich dachte ich jetzt, wir näherten uns wieder dem Sturme; und ohne Zweifel ist die Theorie keine blosse Speculation. Ich hielt wieder nach SO. zu; und um noch deutlicher zu zeigen, welch' grossen Unterschied eine kleine Strecke ausmacht, die man mehr oder weniger von diesen Stürmen entfernt ist, so besserte sich das Wetter schnell. Der nächste Morgen war schön und gemässigt, und der Wind wurde SO. bei schwerem, westlichen Seegang. Bis zum Nachmittag sah es im Westen düster und wild aus, was mir ein neuer Beweis dafür schien, dass dort das Meteor sich befinde, welches uns Tags zuvor in SO. erschienen und dessen Kurs von SO. nach NW. ein wenig nördlich von unserer Position vorbeigegangen war.

„Als wir zwei oder drei Tage später in Hongkong ankamen, erfuhren wir, dass sie dort einen Sturm, jedoch keinen sehr heftigen gehabt hatten. Augenscheinlich war der Sturm von geringer Ausdehnung, und sein Centrum lag zwischen dem Schiff und Hongkong; und ich hätte das Vergnügen haben können, durch dieses Centrum zu fahren, wenn ich ohne Rücksicht auf die barometrischen Anzeichen und auf die Ergebnisse der wissenschaftlichen Vergleichung von Angaben über andere Stürme nur darauf erpicht gewesen wäre, auf Backbordhalsen, welche meinem Kurse am nächsten waren, beizudrehen, mit dem Bugspriet nach NO. anstatt nach SW."

Wir hätten gerne und mit Freuden diesen Englischen Berichten über die Vermeidung und Benutzung von Cyclonen ähnliche Deutsche angeschlossen; aber leider existiren solche unseres Wissens nicht, oder vielmehr sie sind wohl in den Schiffs-Journalen vergraben. Es ist traurig und eine wahre Schande, wie äusserst wenig unsere Handelsflotte, diese drittgrösste der Welt, welche gerade in den berüchtigten Chinesischen Gewässern eine so hervorragende Stellung einnimmt, bisher zur Kenntniss der Wirbelstürme beigetragen hat! Möchten doch unsere gebildeten Schiffs-Capitaine, sowie die sehr dabei interessirten Rheder nicht länger hinter denjenigen anderer Nationen zurückstehen, sondern ihre Erfahrungen über die Wirbelstürme und die bezüglichen Stellen ihrer Tagebücher zum allgemeinen Nutzen und Frommen der Oeffentlichkeit übergeben! Wenn dieses Buch zur Sicherheit unserer Seeleute und der Deutschen Handelsschiffe vielleicht ein Weniges beitragen sollte, so wäre die Erfüllung dieses Wunsches der beste Dank dafür.

Anhang.

Die Rechnungen, auf welchen unsere Entwickelungen zum Theil beruhen,

und zu deren Ausführung wir jetzt übergehen wollen, haben wir deshalb in die allgemeineren Betrachtungen nicht eingeflochten, weil wir sonst deren Gang hätten unterbrechen müssen, und weil diese Rechnungen Mancherlei enthalten, was vielleicht an sich, nicht aber in Bezug auf Wirbelstürme und Wettersäulen von Interesse ist. Aus ähnlichen Gründen sondern wir sie in drei Gruppen und untersuchen zunächst:

1. Die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei der Wolkenbildung.

Regnault hat bekanntlich durch mehr als hundert Versuche bewiesen, dass die specifische Wärme der Luft bei constantem Druck innerhalb sehr weiter Grenzen unabhängig ist von Temperatur und Spannung. Hieraus und aus dem Mariotte'schen Gesetz lässt sich der folgende sehr allgemeine Satz ableiten:

> Wird einer beliebigen Luftmenge ohne Aenderung der Spannung eine Wärmeeinheit zugeführt, so dehnt sich die Luft aus und verrichtet dabei eine äussere Arbeit von 123.15 Meter-Kilogrammen, wie gross auch anfänglich ihr Volumen und die Spannung und Temperatur ihrer einzelnen Theile sein mögen.

Hier und im Folgenden sind als Masseinheiten Kilogramm, Meter und Centesimalgrad zu Grunde gelegt.

Sei t die Temperatur, p die Spannung, k das Gewicht und kv das Volumen der gegebenen Luftmenge, so dass v das Volumen

der Gewichtseinheit bezeichnet; dann ist nach Mariotte's und Gay-Lussac's Gesetz:

$$1)\qquad p\,.\,kv = kR\,(a+t),$$

indem $a = 273$ und $R = 29{,}272$. Wird nun bei constantem Druck p die Wärmemenge W gleichmässig über jene k Kilogramme vertheilt, so steigt die Temperatur der Luft um $\frac{W}{k\,.\,c}$ Grade, wenn $c = 0{,}2377$ die specifische Wärme bezeichnet. Das neue, dieser Temperatur $t + \frac{W}{kc}$ entsprechende Luftvolum $k\,.\,v_1$ ergiebt sich nach 1) aus der Gleichung:

$$p\,.\,kv_1 = kR\left(a + t + \frac{W}{kc}\right).$$

Und wenn 1) von dieser Gleichung subtrahirt wird, so folgt:

$$2)\qquad p\,.\,(kv_1 - kv) = \frac{R}{c}\,.\,W = 123{,}15\,W.$$

Da nun p den constanten Druck und $(kv_1 - kv)$ die Volumen-Zunahme der Luftmenge bezeichnet, so ist $p\,.\,(kv_1 - kv)$ die bei der Ausdehnung verrichtete äussere Arbeit. Dieselbe ist der zugeführten Wärme W proportional, und gleich 123,15, wie oben behauptet wurde, wenn $W = 1$ ist.

Die einschränkenden Bestimmungen, dass alle Theile der Luftmenge anfangs gleiche Temperatur und Spannung haben, und dass W gleichmässig über die Luftmenge vertheilt werde, dürfen wir jetzt fallen lassen. Denn nach dem eben Bewiesenen verrichtet jeder einzelne Theil der Luftmenge eine äussere Arbeit, welche der ihm zugeführten Wärme proportional ist. Die Arbeit der ganzen Luftmenge ist also wieder $= 123{,}15\,W$, wenn auch W ungleichmässig vertheilt wird. Also wird keine neue äussere Arbeit verrichtet, wenn W sich nachträglich gleichmässig in der Luftmenge verbreitet: die letztere behält ihr einmal erlangtes Volumen, unabhängig von der Vertheilung ihrer inneren Wärme. Hieraus folgt der Satz:

> Wenn beliebige Mengen trockener Luft von gleicher Spannung und ungleicher Temperatur sich mischen, so ändert sich bei der Temperatur-Ausgleichung ihr Gesammt-Volumen nicht.

Jetzt lässt sich ohne grosse Mühe die Ausdehnung berechnen, welche durch die Condensation einer beliebigen Dampfmenge in der Atmosphäre hervorgerufen wird. Eine solche Condensation

tritt vielfach ein, wenn zwei mit Wasserdampf gemischte Luftmengen von ungleicher Temperatur einander durchdringen, und namentlich bei der Wolken- und Nebelbildung. Sei beispielsweise 10 Grad die Temperatur, bei welcher die Condensation eintritt. Dann wird der Luft eine Wärmemenge von etwa 599,9 Einheiten mitgetheilt, wenn ein Kilogramm Wasserdampf sich verdichtet; denn so viel beträgt nach Regnault die Verdampfungswärme desselben. Die sich ausdehnende Luft verrichtet deshalb nach Gleichung 2) die äussere Arbeit:

$$123{,}15 \,.\, 599{,}9 = 73877{,}7 \text{ Meter-Kilogramm.}$$

Die Ausdehnung beträgt daher bei der Spannung $p = 10336^{\text{kil.}}$ oder bei einer Atmosphäre:

$$\frac{73877{,}7}{10336} = 7{,}147 \text{ Cubikmeter.}$$

Sie beträgt $7{,}147\,n$ Cubikmeter bei dem Druck von $\frac{1}{n}$ Atmosphäre. Da aber in diesem Falle das specifische Gewicht der Luft nur den n^{ten} Theil ausmacht von dem bei einer Atmosphäre Spannung ihr zukommenden, so ist offenbar das Gewicht der $7{,}147\,n$ Cubikmeter unabhängig vom Luftdruck. Das Gewicht der Luft, welche bei der Condensation von $1^{\text{kil.}}$ atmosphärischen Wasserdampfes (von 10^0) durch die verursachte Ausdehnung verdrängt wird, beträgt daher:

$$7{,}147 \,.\, 1{,}29319 \,.\, \frac{273}{283} = 8{,}916 \text{ Kilogramm,}$$

weil nach Regnault ein Cubikmeter Luft bei 0^0 und bei einer Atmosphäre Spannung 1,29319 Kilogramm wiegt. — Auf ähnliche Weise sind in der unten folgenden Tabelle I auch die übrigen Ziffern der fünften Spalte berechnet worden.

Diese Ausdehnung der Luft ist aber nicht die wirklich eintretende. Sie wird vielmehr vermindert durch die gleichzeitige Contraction, welche bei dem Ausscheiden des Wasserdampfes in Folge der Spannungsverminderung stattfindet. Die Grösse dieser Contraction nimmt auch unabhängig von der gleichzeitigen Ausdehnung ein gewisses Interesse in Anspruch. Wenn nämlich von der Erdoberfläche Wasserdampf in die Atmosphäre eindringt, so übernimmt derselbe einen Theil der atmosphärischen Spannung und veranlasst daher eine Expansion der Luft, welche der bei seiner Ausscheidung eintretenden Contraction gleichkommt. Wie die Rechnung ergeben wird, nimmt je ein Kilogramm Wasser-

dampf in der Atmosphäre die Stelle ein von etwa 1,62 Kil. Luft, so dass folgt:

Bei gleicher Temperatur und Spannung ist feuchte Luft specifisch leichter als trockene.

So z. B. zeigt eine leichte Rechnung, dass bei 1 Atmosphäre Spannung feuchte Luft von 20^0 nicht mehr wiegt, als trockene von $22^0,6$, und vielleicht verdient dieser Satz bei der Theorie der Land- und Seewinde Berücksichtigung.

Bei 10^0 ist das Volumen von einem Kilogramm gesättigten Wasserdampfes = 107,79 Cubikmeter, die Spannung = 0,01206 Atmosphären. Wird also in 107,79 Cubikmetern feuchter atmosphärischer Luft sämmtlicher Wasserdampf, d. h. $1^{\text{kil.}}$, bei 10^0 condensirt, jedoch ohne dass der Luft die freigewordene Wärme zugeführt wird, so vermindert sich die Spannung der Luft um 0,01206 Atm., oder vielmehr ihr Volumen um:

$$0{,}01206 \,.\, 107{,}79 = 1{,}300 \text{ Cubikmeter,}$$

wenn der Luftdruck eine Atmosphäre beträgt. Die Volumverkleinerung beträgt $1{,}300\,n$ Cubikmeter, wenn der Luftdruck nur $\frac{1}{n}$ Atmosphäre ausmacht. Immer aber ist das Gewicht der bei dieser Contraction angesogenen Luft gleich

$$1{,}300 \,.\, 1{,}29319 \,.\, \frac{273}{283} \text{ oder } 1{,}622 \text{ Kilogr.}$$

Scheidet aus dem $k$fachen Luftvolum von $107{,}79\,k$ Cubikmeter ein Kilogr. Wasserdampf aus, so vermindert sich die Luftspannung um $\frac{0{,}01206}{k}$ Atmosphären innerhalb jenes Raumes. Denn bei niedrigen Temperaturen, wie hier, findet das Mariotte'sche Gesetz auf den Wasserdampf unbedenklich Anwendung. Die Contraction $\frac{0{,}01206}{k} \,.\, 107{,}79\,k$ ist also wieder = 1,300 Cubikmeter, wie oben. Ueberhaupt erhalten wir aus Tabelle I die Contraction für je ein Kilogramm ausscheidenden Wasserdampfes dem Volumen nach, wenn wir irgend einen Werth aus der zweiten Spalte mit der zugehörigen Zahl der vierten Spalte multipliciren. Da aber diese Volumina nur für den Luftdruck von einer Atmosphäre gelten, so haben wir vorgezogen, unter 6 in der Tabelle die entsprechenden Gewichte der angesogenen Luft aufzuführen.

Die wirkliche Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei der

Verdichtung von einem Kil. Wasserdampf ist in Tabelle I unter 7 angegeben, und zwar wieder durch das Gewicht der verdrängten Luft. Sie nimmt, wie man sieht, ab mit der Temperatur, und lässt sich bis zur ersten Decimalstelle genau darstellen durch

$$7{,}7 - 0{,}04\,t \text{ Kilogramm.}$$

Das Volumen der verdrängten Luft wird bis zur dritten Decimale genau dargestellt durch

$$5{,}972 - 0{,}0126\,t \text{ Cubikmeter,}$$

wenn der Luftdruck eine Atmosphäre beträgt.

Tabelle I.

	Die Condensation verursacht folgende Volumänderungen von einem Kilogramm gesättigten Wasserdampfes			in atmosph. Luft, ausgedrückt durch das Gw. der angesogenen od. verdrängten Luft.			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Temperatur t (Cels.)	Volumen (Cub.-M.)	Verdampfungswärme (Calorien)	Spannung (in Atm.)	Expansion durch Wärmezuführung (Kilogr.)	Contraction durch Spannungsverlust (Kilogr.)	Differenz der Expansion und Contraction (5)—(6) (Kilogr.)	Verhältniss der Expansion zur Contraction (5) : (6)
−10°	447,6	614,1	0,0027	9,82	1,62	8,20	6,05
− 5°	300,4	610,5	0,0041	9,58	1,62	7,96	5,91
0°	207,36	607,0	0,00605	9,35	1,62	7,73	5,76
5°	148,61	603,5	0,00860	9,13	1,62	7,51	5,63
10°	107,79	599,9	0,01206	8,92	1,62	7,29	5,50
15°	79,12	596,4	0,01672	8,71	1,62	7,09	5,37
20°	58,70	592,8	0,02288	8,51	1,62	6,89	5,26
25°	44,03	589,3	0,03099	8,32	1,62	6,70	5,14
30°	33,37	585,8	0,04151	8,13	1,61	6,52	5,04
35°	25,54	582,2	0,05503	7,95	1,61	6,34	4,93

Die Spalte 8 der Tabelle beweist, dass bei der Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes die Contraction der Luft durch Spannungsverlust kaum ein Fünftel beträgt von der Expansion durch die frei gewordene Wärme.

Die Zahlen der 7. Spalte wollen wir noch benutzen zur Lösung einer meteorologischen Frage: bis zu welchem Grade nämlich die Schwankungen des Barometers der Condensation und dem Ausscheiden des atmosphärischen Wasserdampfes zuzuschreiben seien. Wir denken uns aus der Atmosphäre eine lothrechte Säule von

einem Quadratmeter Grundfläche ausgesondert. In dieser Säule möge ein Kilogramm Wasser als Regen herabstürzen, so dass die Regenhöhe ein Millimeter beträgt. Die Luft dehnt sich dabei bedeutend aus, und wenn ihre Temperatur an der Condensationsstelle z. B. 10 Grad beträgt, so entweichen wegen dieser Expansion 7,3 Kil. Luft entweder seitwärts oder nach oben hin, wo sie an der Grenze der Atmosphäre nach den Seiten abfliessen kann. Das Gewicht der Luftsäule, welches durchschnittlich 10336 Kilogramm beträgt, hat also abgenommen um 8,3 Kil., den niedergeschlagenen Wasserdampf eingerechnet. Die durchschnittliche Barometerhöhe von 760^{mm} muss sich also vermindert haben um

$$\frac{8,3 \,.\, 760}{10336} = 0,61 \text{ Millimeter},$$

also um $^3/_5$ der Regenhöhe Das macht auf einen Zoll Regen etwa sieben Linien Fall im Barometerstande.

Natürlich giebt unsere Rechnung nur das Maximum der Barometerschwankung, welches in Wirklichkeit bei Weitem nicht erreicht wird. Denn die verdrängte Luft wird nicht sofort abfliessen können, und zudem an der Erdoberfläche durch seitlich heranströmende kältere Luft grösstentheils ersetzt. Aber dennoch wirft auch diese Rechnung vielleicht einiges Licht auf die geringe Höhe des Barometerstandes, welche regelmässig bei den regenreichen Drehstürmen beobachtet wird.

2. Das Spannungsgesetz feuchter Luft, welche sich ohne äusserliche Zuführung oder Entziehung von Wärme allmälig ausdehnt.

Wenn in γ Kil. atmosphärischer Luft von der Temperatur t und der Spannung p eine Vergrösserung der Temperatur um dt und der Spannung um dp hervorgebracht werden soll, während die Luft stets einem äusseren Drucke ausgesetzt ist, der ihrer Spannung p gleichkommt, so muss dieser Luftmasse die Wärmemenge

$$\gamma \,.\, dQ_1 = \gamma c \,.\, dt - \gamma \frac{AR(a+t)}{p} \,.\, dp \tag{3}$$

zugeführt werden (vergl. Clausius, Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie, Braunschweig 1864, pag. 290; oder Zeuner, Grundzüge der mechan. Wärmetheorie, 1. Aufl., pag. 43). Hierin ist $A = \frac{1}{424}$, und wie oben $c = 0,2377$; $R = 29,272$; $a = 273$.

Wird ebenso in einem Gemisch von m Kil. Wasserdampf und $M - m$ Kil. Wasser die Temperatur t um dt erhöht, während der Dampf stets gesättigt bleibt und das Volumen der Mischung nur unendlich wenig sich ändert, so muss dieser Mischung die Wärmemenge

$$dQ_2 = Mc_2 \,.\, dt + (a + t) \,.\, d\left(\frac{mr}{a + t}\right)$$

zugeführt werden. (Vergl. Zeuner a. a. O., pag. 105, Gl. V., und Clausius a. a. O., pag. 174, Anm.) Hierin ist $c_2 = 1{,}0024$ die specifische und $r = 607 - 0{,}708\,t$ die sogenannte Verdampfungswärme des Wassers. Befinden sich die Luftmasse γ und das Gemisch M von Wasser und Dampf in demselben Raume, so muss diesem also die Wärmemenge

$$\gamma \,.\, dQ_1 + dQ_2 = (\gamma c + Mc_2)\, dt - \gamma \frac{AR(a + t)}{p}\, dp + (a + t)\, d\,\frac{mr}{a + t}$$

zugeführt werden, damit die angegebenen Aenderungen eintreten. Für das Verhalten der mit Wasser und Dampf geschwängerten Luft ergiebt sich daher unter der Voraussetzung, dass ihr Wärme weder zugeführt noch entzogen werde (oder dass $\gamma \,.\, dQ_1 + dQ_2 = 0$ sei), folgende Gleichung:

$$0 = (\gamma c + Mc_2)\, \frac{dt}{a + t} - \gamma AR\, \frac{dp}{p} + d\left(\frac{mr}{a + t}\right).$$

Durch Integration folgt hieraus, wenn t_0, p_0, m_0 und r_0 die anfänglichen Werthe von t, p, m und r bezeichnen:

$$0 = (\gamma c + Mc_2) \,.\, lg\, nat\, \frac{a + t}{a + t_0} - \gamma AR\; lg\; nat\, \frac{p}{p_0} + \frac{mr}{a + t} - \frac{m_0 r_0}{a + t_0}.$$

Dividiren wir mit $\gamma AR \,.\, log\, nat\, (10)$ und schaffen wir $log\, \frac{p}{p_0}$ auf die linke Seite der Gleichung, so ergiebt sich:

$$log\; brigg\, \frac{p}{p_0} = \frac{c + \frac{M}{\gamma} c_2}{AR} \,.\, lg.\, br.\, \frac{a + t}{a + t_0} - \frac{m_0 r_0 - mr\, \frac{a + t_0}{a + t}}{\gamma AR \,.\, log\, nat\, (10) \,.\, (a + t_0)}.$$

Wir wollen nun annehmen, dass das ursprüngliche, der Temperatur t_0 und der Spannung p_0 entsprechende Volumen der γ Kilogr. Luft ein Cubikmeter sei. Da bei 0^0 und bei 1 Atmosphäre oder 10336 Kil. Spannung ein Cubikmeter Luft 1,2932 Kil. wiegt, so ist dann nach Mar. und Gay-Lussac's Gesetz:

$$\gamma = 1{,}2932 \,.\, \frac{a}{a + t_0} \,.\, n,$$

wenn der Kürze wegen $\frac{p_0}{10336} = n$ gesetzt wird. Es bedeutet also n den Luftdruck in Atmosphären, welchem das Luftquantum γ anfänglich ausgesetzt war. Ferner wollen wir annehmen, dass die Luft anfänglich zwar mit Wasserdampf sei gesättigt gewesen, nicht aber ausser dem Dampf noch tropfbares Wasser enthalten habe, dass also

$$M - m_0 = 0 \text{ oder } M = m_0$$

sei. Dann ist also M oder m_0 das Gewicht von einem Cubikmeter gesättigten Wasserdampfes bei der Temperatur t_0. Möge m' dieselbe Grösse für die Endtemperatur t bezeichnen, bei welcher ja die Spannung der γ Kil. Luft $= p$ und folglich (nach Mariotte) ihr Volumen gleich $\frac{p_0}{p} \,.\, \frac{a + t}{a + t_0}$ Cub.-Meter ist. Die Gesammtsumme m des Wasserdampfes, welche bei dieser Temperatur t und Spannung p noch in der Luftmenge γ sich befindet, ergiebt sich dann zu

$$m = m' \,.\, \frac{p_0}{p} \,.\, \frac{a + t}{a + t_0}.$$

Durch Einsetzung dieser Ausdrücke für γ, M und m und durch Einführung der Zahlenwerthe für die Constanten geht nun die Spannungsgleichung in folgende über:

$$log\,brigg\, \frac{p}{p_0} = -\left(3{,}44304 + 11{,}4516 \,.\, \frac{273 + t_0}{273} \,.\, \frac{m_0}{n}\right) . \,log\,brigg\, \frac{a + t_0}{a + t}$$

$$- \frac{0{,}017878}{n} \,.\, \left(m_0 r_0 - m' r \,.\, \frac{p_0}{p}\right).$$

Nehmen wir für die anfängliche Temperatur t_0 der Mischung und für die schliessliche t, sowie für die anfängliche Spannung $p_0 = 10336 \,.\, n$ bestimmte Werthe an, so erhalten wir für $\frac{p}{p_0}$ eine transcendente Gleichung, aus welcher diese Grösse leicht berechnet werden kann. Denn die Gewichte m_0 und m' des gesättigten Wasserdampfes, welcher bei resp. t_0 und t Grad in einem Cubikmeter enthalten sein kann, ergeben sich aus den Tabellen, welche Zeuner u. A. berechnet haben; und für r haben wir schon oben die Gleichung $r = 607 - 0{,}708\,t$ angegeben. Doch

ist wohl zu beachten, dass die Formel nur dann gültig ist, wenn die Endtemperatur t kleiner ist als die anfängliche t_0, weil sonst der Dampf nicht im gesättigten Zustande bleibt.

Beispielsweise erhalten wir für $t_0 = 20$, $t = 0$ und $p = 10336$ oder $n = 1$ Atm. die Gleichung:

$$log\,brigg\,\frac{p}{p_0} = -0{,}29167 + 0{,}05192\,.\,\frac{p_0}{p},$$

wenn wir den Tabellen gemäss setzen:

$$m_0 = 0{,}0170;\ m' = 0{,}0048;\ r_0 = 592{,}84;\ r = 607{,}00.$$

Durch Probiren finde ich leicht $\frac{p}{p_0} = 0{,}620$. Ferner folgt aus

$$m = m'\,.\,\frac{p_0}{p}\,.\,\frac{a+t}{a+t_0}$$

für m der Werth 0,0072 Kil., und somit wird

$$m_0 - m = 0{,}0098 \text{ und } \frac{m_0 - m}{m_0} = 0{,}58.$$

Das Resultat dieser Rechnung ist also: Wenn sich ein Cubikmeter mit Wasserdampf gesättigter Luft, deren Anfangsspannung eine Atmosphäre, und deren Anfangstemperatur 20° Cels. beträgt, allmälig ausdehnt ohne äusserliche Zuführung oder Entziehung von Wärme, bis ihre Temperatur auf 0° gesunken ist, so nimmt ihre Spannung bis auf 0,620 Atmosphären ab, und es verdichten sich 0,0098 Kilogr. oder 58 Procent ihres Wasserdampfes. Unter denselben Umständen würde nach Poissons Gesetz die Spannung trockener Luft nur bis auf 0,980 Atmosph. gesunken sein. Diese Ergebnisse der Rechnung werden sich durch Versuche leicht prüfen lassen, und derartige Versuche dürften für die Theorie des Wasserdampfes deshalb besonders wünschenswerth und wichtig sein, weil feuchte Luft sich zum Experimentiren wahrscheinlich weit besser eignet, als reiner Wasserdampf.

Auf diese Weise sind die Hauptziffern der Tabelle II berechnet worden, die wir jetzt erklären wollen.

Tabelle II.

	30°	20°	10°	0°	− 10°	− 20°	
30°		0,990 0,745 0,765	0,980 0,563 0,579	0,970 0,431 '0,434	0,960 0,334 0,322	0,949 0,273 0,236	$\varepsilon = 8$
20°	0,990 0,686 0,691		0,990 0,781 0,801	0,980 0,620 0,636	0,969 0.498 0,501	0,958 0,416 0,380	$\varepsilon = 6,4$
10°	0,980 0,470 0,472	0,990 0,722 0,732		0,990 0,811 0,820	0,979 0,666 0,668	0,968 0,564 0,540	$\varepsilon = 5,5$
0°	0,970 0.321 0,318	0,980 0,525 0,529	0,990 0,760 0,763		0,989 0,833 0,845	0,978 0,710 0,710	$\varepsilon = 4,5$
− 10°	0,960 0.217 0.211	0,969 0,385 0,378	0,979 0.585 0,584	0,989 0,793 0,799		0,989 0,857 0,856	$\varepsilon = 4,0$
− 20°	0,949 0.162 0,138	0,958 0.304 0,267	0,968 0,477 0,440	0,978 0,659 0,634	0,989 0.841 0,840		
	$\varepsilon = 11$	$\varepsilon = 9$	$\varepsilon = 7,33$	$\varepsilon = 6$	$\varepsilon = 4,49$		

Von dieser Tabelle ist die eine dreieckige Hälfte rechts oben unter der Annahme berechnet, dass die Spannung p_0, welche die Luft bei dem Sättigungspunkte ihres Wasserdampfes besitzt, 10336 Kilogr. oder eine Atmosphäre betrage; für die andere dreieckige Hälfte links unten ist diese Anfangsspannung zu 5168 Kilogr. oder einer halben Atmosphäre angenommen worden. An den Spitzen der Horizontal- und der Vertikalspalten stehen die Temperaturen, welche zu Anfang und zu Ende der Expansion herrschen, und zwar gilt die höhere dieser beiden Temperaturen für den Anfang der Expansion. Für den Theil der Tabelle rechts oben, für welchen die Anfangsspannung eine Atmosphäre beträgt, steht deshalb die Anfangstemperatur an der Spitze einer Horizontalspalte; für den anderen Theil links unten, für welchen die

Anfangsspannung eine halbe Atmosphäre ist, steht die Anfangstemperatur an der Spitze einer Vertikalspalte. An der Kreuzungsstelle je einer horizontalen mit einer vertikalen Spalte befinden sich drei Ziffern, von denen die mittlere das Verhältniss $\frac{p}{p_0}$ angiebt, oder die Endspannung p rechts oben in Atmosphären und links unten in halben Atmosphären ausdrückt. Die oberste Ziffer jeder Kreuzungsstelle giebt des Vergleiches wegen an, auf welchen Theil der anfänglichen Spannung der Luftdruck bei der Expansion sinken würde, wenn die Luft nicht feucht, sondern trocken wäre. Z. B.: Dehnt feuchte Luft von einer (resp. einer halben) Atmosphäre Spannung sich aus, bis ihre Anfangstemperatur von 30° sich auf 0° vermindert hat, so sinkt gleichzeitig die Spannung auf 0.431 Atm. (resp. 0,321 halbe Atm.). Unter denselben Umständen würde dagegen die Spannung trockener Luft nur bis auf 0,970 Atmosphären (resp. 0,970 halbe Atm.) sich vermindern.

Die unterste Ziffer jeder Kreuzungsstelle giebt, wie man bemerken wird, die Spannungsabnahme bei der Expansion feuchter Luft näherungsweise an; denn die untersten Ziffern unterscheiden sich nur wenig von den mittleren. Wir sind durch folgende Betrachtung zu diesen Näherungsziffern gelangt.

Dehnt sich ein Kilogramm feuchter Luft ohne Wärmezufuhr unendlich wenig aus, so ändert sich ihre Temperatur um die (negative) Grösse dt. Zugleich schlägt sich unendlich wenig Wasserdampf nieder, und giebt seine Verdampfungswärme ab an die Luft. Wir können diese Verdampfungswärme der Temperaturänderung dt proportional, und also weil sie positiv ist, gleich $-\omega \,.\, dt$ setzen. Die Luft dehnt sich dann so aus, als würde ihr bei jeder Temperaturänderung dt von aussen die Wärmemenge $-\omega \,.\, dt$ zugeführt. Zufolge der oben angegebenen Gleichung 3) erhalten wir daher für ihr Spannungsgesetz (da $\gamma = 1$) die Gleichung:

$$-\omega \,.\, dt = c\,dt - \frac{AR(a+t)}{p} \,.\, dp$$

oder

$$\frac{dp}{p} = \frac{c+\omega}{AR} \cdot \frac{dt}{a+t}.$$

Die Grösse ω wird vor Allem abhängen von der Menge des tropfbaren oder flüssigen Wassers, welches in der Luft enthalten ist, und kann, wenn diese constant bleibt, nur noch mit der Tem-

peratur sich ändern. Wenn sich ω, wie anzunehmen ist, nur sehr wenig mit der Temperatur ändert, so darf man näherungsweise ω constant setzen. Obige Gleichung ist dann leicht zu integriren und wir finden:

$$4) \qquad \frac{p}{p_0} = \left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\varepsilon}, \text{ wenn } \varepsilon = \frac{c+\omega}{AR}.$$

Von der Grösse ε sind für die verschiedenen Anfangstemperaturen (von welchen der Dampfgehalt der Luft wesentlich abhängt, weil sie dem Sättigungspunkte entsprechen) Werthe berechnet, mit deren Hülfe die untersten Zahlen an jeder Kreuzungsstelle unserer Tabelle gefunden sind. So z. B. ist das Spannungsgesetz feuchter Luft, die bei 1 Atmosphäre Spannung und bei 30° Celsius ihren Sättigungspunkt erreicht und sich dann ohne äusserliche Wärmezuführung ausdehnt, näherungsweise:

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^8 \text{ für } p_0 = 10336^{\text{kil.}} \text{ und } t_0 = 30^0;$$

und feuchte Luft, die bei $\frac{1}{2}$ Atm. Spannung und 10° Cels. ihren Sättigungspunkt erreicht, dehnt sich ohne äusserliche Wärmezuführung näherungsweise aus nach dem Gesetz:

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{7,33} \text{ für } p_0 = 5168^{\text{kil.}} \text{ und } t_0 = 10^0.$$

Wie man bemerken wird, sind die Werthe von ε am Ende der Spalten angegeben, zu welchen sie gehören.

Die Gleichung 4) $\frac{p}{p_0} = \left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{c+\omega}{AR}}$ hat nun offenbar ganz die Form der Poisson'schen Spannungsgleichung für trockene Luft. Denn letztere folgt sogar aus 4), wenn $\omega = 0$ gesetzt wird. Die Anwesenheit des Wasserdampfes in der Luft hat also dieselbe Wirkung, welche eine Vergrösserung der specifischen Wärme c der Luft hervorbringen würde. Auch ist diese Wirkung des Wasserdampfes zufolge unserer Tabelle desto grösser, je kleiner der Luftdruck p_0 und je grösser die Temperatur t_0 ist, bei welcher die Luft ihren Sättigungspunkt erreicht; denn $\varepsilon = \frac{c+\omega}{AR}$ hängt in derselben Weise von p_0 und t_0 ab. Damit sind unsere früheren Behauptungen über das Verhalten feuchter Luft bei der Ausdehnung bewiesen.

3. Der labile Gleichgewichtszustand in der Atmosphäre.

Sei in der Höhe x über der Erdoberfläche p die Spannung, v das Volumen der Gewichtseinheit (1 Kil.) und t die Temperatur der atmosphärischen Luft. Dann findet nach Mariotte und Gay-Lussac die Gleichung statt:

5) $$pv = R\,.\,(a + t),$$

indem $R = 29.272$ und $a = 273$. Der Höhe $x + dx$ entspricht eine geringere Spannung $p + dp$, weil das Gewicht der über einem Quadratmeter Grundfläche befindlichen Luftsäule abgenommen hat um $\frac{1}{v}\,dx$. Denn v ist das Volumen der Gewichtseinheit, und daher $\frac{1}{v}$ das Gewicht der Volumeneinheit. Also folgt:

$$-dp = \frac{1}{v}\,.\,dx,$$

oder wegen Gleichung 5):

6) $$-\frac{dp}{p} = \frac{dx}{R\,(a + t)}.$$

Ist die Temperatur der Luft überall dieselbe, also t unabhängig von x, und bezeichnet p_0 die Spannung der Luft in der Höhe h, so folgt aus 6) durch Integration die bekannte, bei barometrischen Höhenmessungen benutzte Gleichung:

7) $$\log nat\,\frac{p_0}{p} = \frac{x - h}{R\,(a + t)}.$$

Wir wollen aber, den Beobachtungen besser entsprechend, die Temperatur der Luft als nach oben hin abnehmend voraussetzen. Wir bezeichnen dieselbe in der Höhe h mit t_0 und das entsprechende Volumen der Gewichtseinheit mit v_0, so dass auch die Gleichung $p_0\,.\,v_0 = R\,(a + t_0)$ gilt. Ferner wollen wir annehmen, dass zwischen den Höhen h und x, von denen $h < x$ sei, die Temperatur gleichmässig von t_0 bis t abnehme. Diese Voraussetzung ist auch in der wirklichen Atmosphäre jedenfalls zulässig, wenn die Differenz $x - h$ nur klein genug gewählt wird. Die Temperaturabnahme betrage τ Grade für je 100 Meter lothrechter Erhebung. Dann folgt:

8) $$t_0 - t = \tau\,.\,\frac{x - h}{100}.$$

und hieraus:

$$dx = -100\,.\,\frac{dt}{\tau}.$$

Die Gleichung 6) nimmt daher die Form an:

$$\frac{dp}{p} = \frac{100}{R\tau} \cdot \frac{dt}{a+t},$$

woraus sich durch Integration ergiebt:

$$9) \qquad log\,\frac{p_0}{p} = \frac{100}{R\tau} \cdot log\,\frac{a+t_0}{a+t}.$$

Da nach Gleichung 8) $\frac{100}{\tau} = \frac{x-h}{t_0-t}$ ist, so erhalten wir beiläufig für die Höhendifferenz den Ausdruck:

$$x - h = R\,(t_0 - t) \cdot \frac{log\,\frac{p_0}{p}}{log\,\frac{a+t_0}{a+t}},$$

also einen wesentlich anderen als den aus 7) sich ergebenden:

$$x - h = R\,(a+t) \cdot log\;nat\,\frac{p_0}{p}.$$

Nach der ersteren dieser beiden Formeln berechnet sich aus den Saussure'schen Barometer- und Thermometer-Beobachtungen beispielsweise die Montblanc-Höhe zu 4437 Metern; aus der letzteren zu 4431 Metern, so dass die Temperaturabnahme in der Atmosphäre auf barometrische Höhenmessungen keinen nennenswerthen Einfluss äussert.

Für unsere Zwecke bringen wir Gleichung 9) auf die Form:

$$10) \qquad \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{R\tau}{100}} = \frac{a+t_0}{a+t},$$

und multipliciren diese mit der Mar. und Gay-Lussac'schen Gleichung:

$$\left(\frac{pv}{p_0 v_0}\right)^{\frac{R\tau}{100}} = \left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{R\tau}{100}}.$$

Dann ergiebt sich:

$$\left(\frac{v}{v_0}\right)^{\frac{R\tau}{100}} = \left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{R\tau}{100}-1}.$$

Da $t_0 > t$ angenommen wurde wegen $h < x$ (Gleichung 8) so ist $v_0 > v$ wenn $\frac{R\tau}{100} - 1$ positiv oder > 0, und $v_0 < v$, wenn $\frac{R\tau}{100} - 1$ negativ oder < 0 ist. Die Luft ist also unten in der Höhe h stärker ausgedehnt und daher specifisch leichter als oben in der Höhe x, wenn $\tau > \frac{100}{R}$ oder $\frac{100}{29{,}272}$, d. h. wenn die Temperatur

für je 100 Meter vertikaler Erhebung um mehr als $\frac{100}{29.272}$ oder 3.42 Grad Celsius abnimmt. Die Luft ist unten **schwerer** als oben, wenn ihre Temperatur für je 100^m Erhebung um **weniger** als $3^0{,}42$ sinkt.

Bringen wir ferner aus der Höhe h eine beliebige Luftmenge ohne äusserliche Zuführung oder Entziehung von Wärme in die Höhe x, so sinkt ihre Spannung von p_0 auf p. Gleichzeitig nimmt wegen der Ausdehnung ihre Temperatur t_0 ab. Die neue niedrigere Temperatur, die wir mit t' bezeichnen wollen, ergiebt sich aus Poisson's Gleichung:

$$\frac{p_0}{p} = \left(\frac{a + t_0}{a + t'}\right)^{\varepsilon},$$

in welcher $\varepsilon = \frac{c}{AR} = 424 \cdot \frac{0{,}2377}{29{,}272} = 3{,}443$ ist, wenn die Luft trocken, dagegen nach Tabelle II sehr verschiedene Werthe hat, je nach dem Wasserdampfgehalt, wenn die Luft feucht ist. Nach Gleichung 10) ist aber auch $\frac{p_0}{p} = \left(\frac{a + t_0}{a + t}\right)^{\frac{100}{R\tau}}$, so dass folgt:

$$\left(\frac{a + t_0}{a + t'}\right)^{\varepsilon} = \left(\frac{a + t_0}{a + t}\right)^{\frac{100}{R\tau}};$$

oder durch Multiplication mit $\left(\frac{a + t}{a + t_0}\right)^{\varepsilon}$:

$$\left(\frac{a + t}{a + t'}\right)^{\varepsilon} = \left(\frac{a + t}{a + t_0}\right)^{\varepsilon - \frac{100}{R\tau}}.$$

Da $t_0 > t$ ist, so muss auch $t' > t$ sein, wenn $\varepsilon - \frac{100}{R\tau}$ positiv oder $\tau > \frac{100}{R \cdot \varepsilon}$ ist; dagegen ist $t' < t$, wenn $\tau < \frac{100}{R\varepsilon}$. Ist die Luft trocken, so ergiebt sich also der Satz: Die von unten heraufgebrachte Luftmenge ist wärmer und daher specifisch leichter als ihre neue Umgebung, sie steigt also noch weiter in die Höhe, wenn die Temperaturabnahme der Atmosphäre für je 100 Meter lothrechter Erhebung **mehr** beträgt, als $\frac{100}{29{,}272 \cdot 3{,}443}$ oder 0,993 Grad Celsius; sie ist kälter, und sinkt daher zu ihrer früheren Lage zurück, wenn die Temperaturabnahme für je 100^m **kleiner** ist als 0,993 Grad. Im ersteren Falle ist der Gleichgewichtszustand der Atmosphäre ein **labiler**, im zweiten ein **stabiler**;

er ist ein indifferenter, wenn die genannte Temperaturabnahme gleich 0,993 Grad ist. — Uebrigens ergeben sich für trockene Luft dieselben Resultate, wenn eine beliebige Luftmenge aus ihrer Gleichgewichtslage nach abwärts bewegt wird, statt aufwärts.

Ist die aus der Höhe h in die Höhe x gebrachte Luftmenge mit Wasserdampf gesättigt, so erhalten wir für ε verschiedene Werthe je nach der Temperatur t_0 und Spannung p_0, welche die Luft bei ihrem Sättigungspunkte in der Höhe h besass. Demnach wird auch die Temperaturabnahme $\tau = \frac{100}{R\,\varepsilon}$, bei welcher die Luft im indifferenten Gleichgewicht sich befindet, verschieden ausfallen. Für die verschiedenen Werthe von ε und τ erhalten wir folgende 2 Tabellen (vergl. Tab. II):

Für $p_0 = 10336^{\text{kil.}} = 1$ Atmosphäre,

und $t_0 =$	-10^0	0^0	10^0	20^0	30^0
folgt $\varepsilon =$	4,0	4,5	5,5	6,4	8
$\tau =$	0,85	0,76	0,62	0,53	0,43

Für $p_0 = 5168^{\text{kil.}} = \frac{1}{2}$ Atmosphäre,

und $t_0 =$	-10^0	0^0	10^0	20^0	30^0
folgt $\varepsilon =$	4.49	6,0	7,33	9,0	11,0
$\tau =$	0,76	0,57	0,47	0,38	0.31

Ist beispielsweise irgendwo in der Atmosphäre die Tem peratur 10^0 und die Spannung eine (resp. eine halbe) Atmosphäre, so befindet sich dort vorhandene, mit Wasserdampf gesättigte Luft im labilen Gleichgewicht, wenn die Temperaturabnahme für je 100^{m} lothrechter Erhebung mehr beträgt als 0,62 (resp. 0,47) Grad Celsius. Diese Tabellen beweisen unsere früheren Behauptungen, dass mit Feuchtigkeit gesättigte Luft um so leichter in der Atmosphäre emporsteigt, je niedriger ihre Spannung und je höher ihre Temperatur ist. Denn die zum Aufsteigen erforderliche Temperaturabnahme τ ist kleiner für hohe als für niedrige Anfangstemperaturen t_0, und kleiner für $p_0 = \frac{1}{2}$ Atmosph. als für $p_0 = 1$ Atmosph. Spannung.

Bei Aufstellung der Tabelle II, aus welcher die Werthe von τ abgeleitet sind, haben wir angenommen, dass die expandirende

feuchte Luft auch den condensirten Wasserdampf behalte in Form tropfbaren Wassers, dass also ihr Gehalt an Feuchtigkeit constant bleibe. Diese Annahme wird auch für feuchte aufsteigende Luftmassen zulässig sein; denn dieselben lassen ihren condensirten Wasserdampf keineswegs sofort als Regen fallen, sondern sie reissen ihn als Nebel mit sich fort, wie bei Wasserhosen deutlich zu erkennen ist.

Ferner nahmen wir an, dass die Temperatur der Atmosphäre nach oben hin gleichmässig abnehme. Ist dieses nicht der Fall, so darf die Temperaturabnahme gleichwohl nirgends mehr betragen, als die Werthe von τ für trockene oder feuchte Luft angeben, wenn nicht das atmosphärische Gleichgewicht ein labiles sein soll.

Wenn feuchte Luft in so kalte Luftregionen emporgerissen wird, dass der mitgeführte Nebel und die sich bildenden Wassertropfen gefrieren, so wird auch die Schmelzwärme des entstehenden Eises frei und vergrössert den Auftrieb der Luft. Von den älteren Erklärern der Hagelbildung ist diese Thatsache garnicht berücksichtigt worden; sonst hätten dieselben wohl nicht die seltsame Hypothese aufgestellt, dass die Regentropfen durch electrische Kräfte oder auch durch Wirbelwinde mit horizontalen Axen zwischen ungleich hohen Wolken oftmals auf und nieder geschleudert würden, während sie zu Hagel gefrieren. Nach unserer Ansicht lassen auch die Hagelwetter sich durch aufsteigende Luftströme ganz befriedigend erklären.

Wir werden gleich sehen, dass sich mit Hülfe der oben aufgestellten Gleichungen auch die Geschwindigkeit der Luft im vertikalen Strom ohne grosse Mühe berechnen lässt. Im aufsteigenden Strome ist die Geschwindigkeitszunahme nach oben hin nicht beträchtlich im Vergleich zu der bedeutenden Anfangsgeschwindigkeit, mit welcher bei Wettersäulen und Wasserhosen in der Regel die unteren Luftmassen in den Kanal eintreten. Weil nun die aufsteigende Luft sich allmälig ausdehnt, so wird der Strom nach oben hin breiter werden müssen, und besonders dort wird sein Querschnitt sehr bedeutend werden, wo seine Geschwindigkeit (etwa weil die Lufttemperatur nicht mehr rasch genug abnimmt nach oben hin) wieder kleiner wird und die aufsteigende Luft allmälig zur Ruhe kommt. Wirklich ist oft bei Wettersäulen und namentlich bei Wasserhosen die Beobachtung gemacht worden, dass die im aufsteigenden Strom sich bildende Nebelmasse nach oben hin

immer grössere Querschnitte annimmt, so dass sie häufig als blosser conischer Ansatz der Wolken erscheint.

4. Die Geschwindigkeiten im aufsteigenden Luftstrome.

Sind die horizontalen Dimensionen eines aufsteigenden Luftstromes nicht allzu gross, so kann innerhalb desselben der Luftdruck p in der Höhe x über der Erdoberfläche gleich demjenigen der durchbrochenen, ruhenden Luft in derselben Höhe angenommen werden. Eine Druckdifferenz kann nur durch die Centrifugalkraft hervorgerufen werden, wenn nämlich der aufsteigende Strom heftig um seine Axe wirbelt; aber selbst in den grössten Americanischen Tornados tritt, wie wir wissen, diese Wirbelbewegung sehr zurück gegen die übrigen Bewegungen der Luft. Weil nun die Temperaturen (t', t) und folglich auch die specifischen Volumina (v', v) der aufsteigenden und der sie umgebenden ruhenden Luft in der Höhe x verschieden sind, so wird die aufsteigende Luft in ihrer Bewegung beschleunigt oder verzögert, je nachdem $v' > v$ oder $v' < v$ ist. Wir wollen ihre mit der Höhe x veränderliche Geschwindigkeit V berechnen, indem wir zunächst für ihre Beschleunigung $\frac{V \, . \, d\,V}{d\,x}$ eine Gleichung aufstellen; dabei werde die Secunde als Zeiteinheit angenommen und mit $g = 9^{m}, 81$ die Erdacceleration bezeichnet.

Da v' das Volumen von einem Kilogramm der aufsteigenden Luft in der Höhe x bezeichnet, so ist $\frac{d\,S}{v'}$ das Gewicht der im Raumelement $d\,S$ enthaltenen aufsteigenden Luft. Diesem Gewichte wirkt der Auftrieb entgegen, welcher dem Gewichte $\frac{d\,S}{v}$ der verdrängten ruhenden Luft gleichkommt. Die Masse $\frac{d\,S}{g\,v'}$ der in $d\,S$ enthaltenen Luft wird demnach durch die Kraft $\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v'}\right) d\,S$ in ihrer aufsteigenden Bewegung beschleunigt, so dass wir für die Beschleunigung mit Berücksichtigung der Gleichung (8) folgenden Ausdruck erhalten:

$$11) \qquad \frac{V \, . \, d\,V}{d\,x} \text{ oder } -\frac{\tau}{100} \cdot \frac{V \, . \, d\,V}{d\,t} = g\left(\frac{v'}{v} - 1\right).$$

Um nun den Quotienten $\frac{v'}{v}$ durch die Temperatur t der ruhenden Luft auszudrücken, vereinigen wir die für letztere geltende

Gleichung 10) und die Poisson'sche, welche für die aufsteigende Luft gilt, zu der folgenden Doppelgleichung:

$$12)\qquad \frac{p_0}{p} = \left(\frac{a+t_0}{a+t}\right)^{\frac{100}{R\tau}} = \left(\frac{a+t_0}{a+t'}\right)^{\varepsilon}.$$

Aus derselben ergiebt sich durch eine leichte Umformung:

$$\frac{a+t'}{a+t} = \left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{100}{\varepsilon R\tau}-1}.$$

Dividiren wir anderseits die beiden Mariotte- und Gay-Lussac'schen Gleichungen:

$$\frac{p\,v}{p_0\,v_0} = \frac{a+t}{a+t_0} \text{ und } \frac{p\,v'}{p_0\,v_0} = \frac{a+t'}{a+t_0}$$

in einander, so erhalten wir:

$$13)\qquad \frac{v'}{v} = \frac{a+t'}{a+t} \text{ und folglich } \frac{v'}{v} = \left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{100}{\varepsilon R\tau}-1}$$

Der Doppelgleichung 12) und ebenso den Gleichungen 13) liegt übrigens die Voraussetzung zu Grunde, dass die aufsteigende Luft anfänglich in der Höhe h sich befand, und zwar unter der Temperatur t_0 der daselbst in Ruhe verbliebenen Luftschichten.

Aus 11) und 13) ergiebt sich sofort:

$$\frac{V\,.\,dV}{dt} = -\frac{100g}{\tau}\left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{100}{\varepsilon R\tau}-1} + \frac{100g}{\tau},$$

und hieraus durch Integration:

$$\tfrac{1}{2}V^2 = \text{Const.} - g\varepsilon R\,(a+t_0)\left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{100}{\varepsilon R\tau}} + \frac{100g}{\tau}\,t.$$

Bezeichnen wir mit V_0 die nach aufwärts gerichtete Geschwindigkeit des Luftstromes in der Höhe h, wo zugleich $t = t_0$ wird, so lässt sich die Integrations-Constante leicht bestimmen, und wir erhalten:

$$14)\quad V^2 = V_0^2 - 2g\varepsilon R\,(a+t_0)\left[\left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{100}{\varepsilon R\tau}} - 1\right] + 2\,.\,\frac{100g}{\tau}(t-t_0).$$

Diese Gleichung lässt sich aber wesentlich vereinfachen, wenn wir

$$\left(\frac{a+t}{a+t_0}\right)^{\frac{100}{\varepsilon R\tau}} \text{ oder } \left(1-\frac{t_0-t}{a+t_0}\right)^{\frac{100}{\varepsilon R\tau}}$$

nach dem binomischen Lehrsatze entwickeln, und die dritten und höheren Potenzen des Bruches $\frac{t_0-t}{a+t_0}$, welcher wegen $a = 273$ und

$t_0 - t < t_0$ sehr klein ist, vernachlässigen; sie verwandelt sich dann in folgende:

$$V^2 = V_0^2 + \frac{100\,g}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{100}{\varepsilon R \tau}\right) \cdot \frac{(t_0 - t)^2}{a + t_0}.$$

Setzen wir hierin aus Gleichung 8):

$$t_0 - t = \tau \, . \, \frac{x - h}{100},$$

so erhalten wir für V^2 den sehr einfachen Ausdruck:

$$15) \quad V^2 = V_0^2 + K \, . \, (x - h)^2, \text{ worin } K = \frac{g}{a + t_0} \cdot \frac{\varepsilon R \tau - 100}{100\, \varepsilon R}.$$

Wäre z. B. $V_0 = 0$, so würde die Geschwindigkeit V im aufsteigenden Luftstrome für $K > 0$ proportional mit der zurückgelegten Höhe $x - h$ wachsen, so lange die atmosphärische Temperaturabnahme τ für je 100^m Erhebung constant bleibt; überhaupt aber nimmt V mit der Höhe $x - h$ zu oder ab, je nachdem K positiv oder negativ, je nachdem also $\varepsilon R \tau >$ oder < 100 ist, und wir finden so ein früheres Ergebniss wieder.

Um die Grösse des Coefficienten K besser beurtheilen zu können, nehmen wir beispielsweise $\tau = 0.95$ an, so dass die atmosphärische Luft, falls sie trocken wäre, im stabilen Gleichgewichte sich befinden müsste. Die aufsteigenden unteren Luftschichten seien aber mit Wasserdampf gesättigt, und der Exponent ε der Spannungsgleichung 12) werde der anfänglichen Spannung p_0 und Temperatur t_0 dieser Luftschichten entsprechend angenommen. Wir erhalten dann folgende Tabellen für K:

Für $\tau = 0{,}95$; $p_0 = 10336^{\text{kil.}} = 1$ Atmosphäre,

$t_0 =$	-10^0	0^0	10^0	20^0	30^0 Cels.
und $\varepsilon =$	4,0	4,5	5,5	6,4	8
wird $1000\sqrt{K} =$	5,98	8,28	10,68	11,80	13,01.

Dagegen für $\tau = 0{,}95$; $p_0 = 5168^{\text{kil.}} = \frac{1}{2}$ Atmosphäre,

$t_0 =$	-10^0	0^0	10^0	20^0	30^0 Cels.
und $\varepsilon =$	4,49	6,0	7,33	9,0	11,0
wird $1000\sqrt{K} =$	8,40	11,69	12,95	13,82	14,39.

Der Coefficient K fällt also bei diesen Annahmen zwar positiv, aber sehr klein aus, nämlich höchstens $= \left(\frac{14{,}4}{1000}\right)^2 = \frac{207}{1000000}$.

Wäre die Anfangsgeschwindigkeit V_0 der aufsteigenden Luft gleich Null, so würde ihre Geschwindigkeit für je 1000 Meter Höhe, die sie zurücklegt, genau um 1000 $\sqrt{K}$ Meter wachsen, also z. B. um 13 Meter, wenn $p_0 = 10336^{\text{kil.}}$ und $t_0 = 30^0$ ist. In Wirklichkeit aber ist die Anfangsgeschwindigkeit V_0, mit welcher die unteren Luftmassen in den aufsteigenden Strom der Wettersäulen und Landtornados eintreten, viel grösser als $\sqrt{K}\,.\,(x - h)$; in vielen Fällen war sie eine orkanartige und kann = 40 bis 50 Meter per Secunde angenommen werden. So lange K positiv und $K(x-h)^2 < V_0^2$ ist, kann V bis auf ein Achtzehntel genau aus der Formel:

$$V = V_0 + \frac{\sqrt{K}}{3}(x - h)$$

berechnet werden; die Geschwindigkeits-Zunahme für je 1000 Meter Höhe beträgt alsdann nur etwa $\frac{1000\,.\,\sqrt{K}}{3}$ Meter.

Bezeichnen wir mit T die Zeit, welche die aufsteigende Luft gebraucht, um von der Höhe h zu der Höhe x zu gelangen, und setzen wir demgemäss $V\,.\,dT = dx$, so ergiebt sich aus 15) die Differentialgleichung:

$$dT = \frac{dx}{\sqrt{V_0^2 + K(x-h)^2}}.$$

Integriren wir rechts zwischen den Grenzen h und x, so erhalten wir für T zwei ganz verschiedene Ausdrücke, je nachdem K positiv $= + k^2$ oder negativ $= - k^2$ ist. Indem wir jedesmal die Gleichungen 15) hinzufügen, bekommen wir die folgenden beiden Systeme zusammengehöriger Gleichungen:

$$16)\quad \begin{cases} T = \frac{1}{k}\,.\,log\,nat\,\frac{k(x-h)+V}{V_0} \text{ und } V^2 = V_0^2 + k^2(x-h)^2, \\ \text{wenn } k^2 = \frac{g}{a+t_0}\,.\,\frac{\varepsilon R\tau - 100}{100\,\varepsilon R} = + K \text{ gesetzt wird;} \end{cases}$$

$$16_a)\quad \begin{cases} T = \frac{1}{k}\,.\,arc\,sin\,\frac{k(x-h)}{V_0} \text{ und } V^2 = V_0^2 - k^2(x-h)^2, \\ \text{wenn } k^2 = \frac{g}{a+t_0}\,.\,\frac{100 - \varepsilon R\tau}{100\,\varepsilon R} = - K \text{ gesetzt wird.} \end{cases}$$

Wir müssen darauf verzichten, diese Gleichungen auf unsere Wettersäulen und Wasserhosen anzuwenden, da bis jetzt über die Geschwindigkeiten der in ihnen aufsteigenden oder niedersinkenden Luftströme keine Beobachtungen vorliegen.

Dagegen ist zu hoffen, dass schon in nächster Zeit die spectroscopischen Messungen uns eine sehr interessante Anwendung dieser Gleichungen auf die Protuberanzen der Sonne ermöglichen werden. Wir wissen, dass eine ganze Classe von Protuberanzen wirkliche Gasausbrüche der Sonnenatmosphäre sind; sie sind aufsteigende Gasströme der Chromosphäre, welche sich über die äussere Grenze der letzteren oft 10,000 geographische Meilen hoch erheben. Die Geschwindigkeit (V oder V_0) ihres Aufsteigens und ihre Höhe $x - h$ ist schon in verschiedenen Fällen gemessen worden; lägen ausserdem über die Zeit T, in welcher ihre Gastheile jene Höhe durchlaufen, Beobachtungen vor, so könnten wir mittelst obiger Gleichungen die Constante k und zugleich die zweite Geschwindigkeit (V_0 resp. V) berechnen. Eine theoretische Bestimmung von k aus den letzten Gleichungen (16) und (16a) ist für die Sonnenatmosphäre für jetzt unmöglich, weil wir die ungeheuren Temperaturen und die Beschaffenheit derselben nicht genügend kennen, und weil in den aufsteigenden Gasströmen der Chromosphäre nicht die bekannte latente Wärme des Wasserdampfes, sondern diejenige von Eisen- und anderen Metalldämpfen eine jedenfalls bedeutende Rolle spielt.

Manchem dürfte es gewagt erscheinen, dass wir unsere für irdische Luft aufgestellten Gleichungen trotz dieser ganz abweichenden Verhältnisse auf die Sonnenatmosphäre anwenden wollen. Aber diese Gleichungen gründen sich vor Allem auf das Mariotte'sche Gesetz, welches für die permanenten Gase um so genauer richtig ist, je grösser ihre Temperatur und ihr specifisches Volumen sind; ferner auf die Annahme, dass die atmosphärische Temperatur nach oben hin gleichmässig abnehme, eine Annahme, die auch für die Sonnenatmosphäre zulässig ist und als eine erste Annäherung an die wirklichen Temperatur-Verhältnisse angesehen werden kann; endlich nehmen sie Rücksicht auf den Einfluss der latenten Wärme mitgerissener Dämpfe, und wenn wir auch bei Metalldämpfen diesen Einfluss nicht numerisch berechnen können, so dürfen wir ihn doch als gleichartig mit demjenigen unserer Wasserdämpfe voraussetzen. Als Näherungsformeln gelten deshalb unsere Gleichungen (16) und (16a) auch für die Sonnenatmosphäre; und wer weiss, ob wir jemals die wirkliche Temperatur-Abnahme in dieser Atmosphäre und ihre Zusammensetzung genau genug kennen lernen werden, um jene Formeln durch noch genauere ersetzen zu können! — Wenn wir dieselben schon jetzt,

trotzdem wir nur über die Höhe und die Maximalgeschwindigkeiten der eruptiven Protuberanzen einige Anhaltspunkte besitzen, auf ein Zahlenbeispiel anzuwenden versuchen, so berechtigt uns hiezu der Umstand, dass bereits Zöllner einen ganz ähnlichen Versuch, wenn auch von anderer Grundlage aus, gewagt hat.

Zöllner [62]) nimmt nämlich als Ursache der eruptiven Protuberanzen an „die Druckdifferenz des ausströmenden Gases im Innern und an der Oberfläche der Sonne"; er setzt demgemäss eine Trennungsschicht voraus, aus welcher die Protuberanzen hervorbrechen, und zwar hält er diese Schicht für identisch mit der von seiner Sonnenfleckentheorie geforderten feurig-flüssigen Oberflächenschicht des eigentlichen Sonnenkörpers. Er sucht auf diese Weise die enormen Anfangs-Geschwindigkeiten der Protuberanzen zu erklären und berechnet dieselben, sowie die zum Aufsteigen erforderliche Zeit (τ_1) unter der Annahme, dass die Gase zu ihrer grössten Höhe ($H - h$) ohne Widerstand, unter alleiniger Einwirkung der Sonnengravitation emporsteigen.

Zöllner glaubt, dass die so berechnete Zeit τ_1 „unter allen Umständen" kleiner sein müsse als diejenige T, in welcher die glühenden Gasmassen durch ihren Auftrieb (oder, wie Zöllner sich ausdrückt, vermöge des Archimedes'schen Princips) zu der gleichen Höhe gelangen können. Wäre diese Ansicht richtig, so müsste also ein rasch aufsteigender Luftballon, um eine bestimmte Höhe zu erreichen, mehr Zeit gebrauchen, als ein Körper, der mit einer gewissen Anfangsgeschwindigkeit ohne Widerstand bis zur gleichen Höhe emporgeschleudert wird. Wir können mit Hülfe unserer Formeln beweisen, dass Dieses ein Irrthum ist; und ein Hauptgrund, der bisher für diese, wie uns scheint, allzu hypothetische Erklärung der eruptiven Protuberanzen geltend gemacht werden konnte, wird demnach hinfällig.

Zöllner nimmt für $x = H$ und für h folgende Zahlen an:

$$x = H = 64370000 \text{ und } h = 5722600 \text{ Meter,}$$

so dass $x - h = 58647400^{\text{m}} = 7918$ geogr. Meilen ist. Die Geschwindigkeit V_0 (oder v_1) in der Höhe h berechnet er zu

$$V_0 = 179400^{\text{m}} = 24.17 \text{ geogr. Meilen pr. Sec.,}$$

und für die Zeit, in welcher die emporgeschleuderten Gasmassen die Höhe $x - h$ zurücklegen, ergeben seine Formeln:

$$\tau_1 = 10 \text{ Minuten } 54 \text{ Secunden.}$$

Eine solche Schnelligkeit der Entwicklung hat Zöllner öfter beobachtet, u. A. auch bei der oben (pag. 168) wiedergegebenen Protuberanz vom 29. August 1869.

Berücksichtigen wir dagegen den Auftrieb dieser Gasmassen, indem wir unsere Gleichungen (16a) benutzen, und nehmen wir ebenso wie Zöllner $V_0 = 179400^m$ und $V = 0$ an, so ergiebt sich:

$$1000\,k = \frac{1000 \,.\, V_0}{x - h} = 3{,}06 \text{ oder } K = -k^2 = -0{,}00000936,$$

$$T = \frac{\pi}{2k} = \frac{\pi}{2} \,.\, \frac{x-h}{V_0} = 8 \text{ Minuten } 34 \text{ Secunden};$$

die erforderliche Zeit T ist also nicht grösser, sondern um $2^1/_3$ Minuten kleiner als die von Zöllner berechnete (τ_1). Dabei ist wohl zu beachten, dass diese letzte Rechnung so gut wie die Zöllner'sche unter der ausdrücklichen Voraussetzung gilt, dass die aufsteigenden Gase in der Höhe $x = H$ zur Ruhe kommen, wie in denjenigen Protuberanzen, die sich oben in stillstehende Wolken auflösen oder auch in parabolischen Strahlen aus der Höhe H zur Sonne zurückfallen. Wenn aber, wie es sehr häufig vorkommt, die obersten Theile einer Protuberanz noch eine bedeutende Geschwindigkeit nach aussen hin besitzen, wenn sie also nur wegen ihrer sehr starken Expansion und Abkühlung im Spectroscope unsichtbar werden, so erhalten wir für die Zeit T noch kleinere Werthe.

In Zöllner's Rechnungen bedeutet h die Höhe, in welcher sich die sichtbare Grenze der Sonnenscheibe über der eigentlichen Ausströmungsöffnung befindet. Betrachten wir jetzt die hier besprochene Classe von Protuberanzen als Erscheinungen, die ebenso wie unsere irdischen Tornados und Wettersäulen entstehen, so haben wir in derselben Höhe h den Ursprung ihrer glühend emporsteigenden Gase zu suchen Wir wollen die Zöllnerschen Zahlenwerthe dieser Auffassung gemäss auch in unsere Gleichungen (16) einsetzen, jedoch annehmen, dass ganz oben in der Protuberanz, also in der Höhe $x = H$, die Geschwindigkeit:

$$V = 179400 \text{ Meter per Secunde}$$

sei, während:

$$x - h = 58647400 \text{ Meter}$$

bleibe. Unten in der Höhe h treten die zuströmenden Gase mit einer gewissen Geschwindigkeit V_0 in die Protuberanz ein; wir kennen dieselbe nicht, dürfen aber aus der Analogie mit den

irdischen Tornados schliessen, dass sie nicht unbedeutend sein kann. Wir dürfen wenigstens

$$V_0 = \frac{V}{5} = 35880^m$$

annehmen, und erhalten mit Hülfe der Gleichungen (16):

$$1000k = 2{,}997; \; K = + k^2 = 0{,}00000898;$$

$$T = 12 \text{ Minuten } 45 \text{ Secunden.}$$

Hätten wir dagegen gesetzt:

$$V_0 = \frac{V}{2} = 89700^m,$$

so würde sich ergeben haben:

$$1000k = 2{,}649; \; K = + k^2 = 0{,}00000702;$$

$$T = 8 \text{ Minuten } 17 \text{ Secunden.}$$

Auch diese letzte Zahl T ist kleiner, als die von Zöllner gefundene Zeit τ_1 = 10 Minuten 54 Secunden.

In der Sonnenatmosphäre müssen durch die blosse Erhitzung der unteren Schichten sehr heftige aufsteigende Gasströme entstehen. Wenn nun die Rechnung ergiebt, dass deren Geschwindigkeit, Höhe und die Zeitdauer ihres Aufsteigens mit derjenigen der eruptiven Protuberanzen in befriedigende Uebereinstimmung gebracht werden kann, so liegt gewiss kein Grund vor zu der Annahme, dass diese Protuberanzen aus blasenartigen Hohlräumen unter der tropfbar flüssigen Oberfläche der Sonne hervorbrechen.

Literatur-Nachweis.

Anmerkung: Mit „Sill. J." bezeichnen wir Dana's und Silliman's American Journal of Science and Arts; „Pogg. Ann." und „Gilb. Ann." bedeuten Poggendorff's resp. Gilbert's Annalen der Physik und Chemie; „Compt. Rend." bedeutet die Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.

Einleitung.

1. Vergl. z. B. die ganz ähnliche Schilderung einer Wasserhose von Ogden On Waterspouts; in Sill. J. 29, pag. 254—260.
2. Alex. Fischer Olmsted A. M., Whirlwinds produced by the Burning of a Cane-Brake; in Sill. J. II. Series 11, p. 181—187.
3. W. C. Redfield, Whirlwinds excited by Fires; in Sill. J. 36, p. 50—59.

3a. Von Seebach, Ueber den Vulkan von Santorin und die Eruption von 1866; in den Abhandlungen der Kgl. Gesellsch. d. Wissenschaften zu Göttingen, Bd. 13, pag. 57.

4. J. P. Espy, Second and third Report on Meteorology (pag. 12), 1851 auf Befehl des Senates der Union gedruckt; desselben Fourth meteorological Report, Washington 1857 (pag. 32).

1. Abschnitt. Wettersäulen oder Land- und Wasserhosen.

5. Oersted in Schumacher's Jahrbuch 1838, p. 228, und in Sill. J. 37, p. 250—267.
6. Becquerel, Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme, 1840. T. VI., p. 173—199; enthält auf p. 184—189 Peltier's Verzeichniss von 56 Wasser- und 60 Land-Tromben.
7. Arago, Sämmtliche Werke, herausgegeben von Hankel, Bd. 16, p. 238—286.
8. Martins in Pogg. Ann. 81, p. 444—467.
9. Muncke in Gehler's physikalischem Wörterbuch, Bd. 10, p. 1635—1723, Artikel „Wettersäule".
10. Bruce und Stephenson bei Muncke a. a. O. p. 1637; Bruce, Lyons und Fyers bei Reid, An Attempt to develop the Law of Storms etc., 3d ed., Lond. 1850, pag. 469.
11. Humboldt, Ansichten der Natur, 3. Ausg., 1849, p. 26 und 222.
12. Thomas Belt, An Inquiry into the Origin of Whirlwinds; im Philosophical Magazine, IV. Series 17, p. 47—53 (1859).
13. Roth, Der Vesuv und die Umgebung von Neapel, Berl. 1857, p. 130.

14. Bailleul in den Compt. Rend. 31, p. 8.
15. Hamilton's Bericht an die Londoner Akademie, übersetzt in Gilb. Ann. 6, p. 30.
16. Horner's Erfahrungssätze über Tromben; in Gilb. Ann. 73, p. 95.
17. Baussard, Beschreibung einiger Wasserhosen; in Gilb. Ann. 7, p. 73.
18. Maxwell's Zeichnung von Wasserhosen; im Atlas zu Becquerel's Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme Fig. 8 und in Gilb. Ann. 73, Tafel 1.
19. Pouillet in den Compt. Rend. 21, p. 549; andere Berichte ebenda p. 498.
20. Oersted in Schumacher's Jahrbuch 1838, p. 235 und 239, odor im Sill. J. 37, p. 257 und 261.
21. Espy in Arago's Werken Bd. 16, p. 247 und in seinem Second Report on Meteorology, p. 10.
22. Lampadius, Systematischer Grundriss der Atmosphaerologie, 1806, p. 167; Muncke in Gehler's physik. Wörterbuch, Bd. 10, p. 1639.
23. Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, Bd. 2, p. 550.
24. Prof. Wolke's und D. Chladni's Berichte in Gilb. Ann. 73, p. 106 und 108.
25. Peltier in l'Institut, 7me Année Nr. 290, p. 242 und in Becquerel's Traité expér. de l'Électr. et du Magnétisme, Bd. 6, p. 179.
26. Dr. G. vom Rath in Pogg. Ann. 104, p. 631—640. Die Zeichnungen wurden mit Herrn Prof. vom Rath's gütiger Erlaubniss copirt.

Ausserdem finden sich grössere, von uns eingesehene Abhandlungen über die Wettersäulen bei:

Thom, An Inquiry into the Nature and Course of Storms in the Indian Ocean, Lond. 1845.

Espy, The Philosophy of Storms, Lond. 1841.

Reid, An Attempt to develop the Law of Storms by means of Facts, 3d ed., Lond. 1850.

Piddington, The Sailor's Horn-Book for the Law of Storms, 2d ed., Lond. 1851.

2. Abschnitt. Ursachen und Entstehung der Wettersäulen.

27. Diese Rechnungen habe ich zuerst veröffentlicht in Schlömilch's Zeitschrift für Mathematik und Physik, Bd. 9, p. 262—276 (1864).
28. Glaisher's Luftfahrten, geschildert im „Ausland" 1862, p. 1074.
28a. Notizen über Glaisher's Luftfahrten in Les Mondes, Revue hebdomadaire des Sciences 1, p. 292 und 557.
29. Barral und Bixio's Tagebuch in Arago's gesammelten Werken, Bd. 9, p. 418—420; vgl. Pogg. Ann. 81, p. 575—577.

3. Abschnitt. Die Americanischen Tornados.

30. Loomis in Sill. J. 43, p. 298.
31. Redfield in Sill. J. 43, p. 276.
32. Nr. 1. Stoddard in Sill. J. II. Ser. 18, p. 70; Zeitungsbericht in Sill. J. II, 17, p. 290.
Nr. 2. Loomis in Sill. J. 43, p. 278.
Nr. 3. Stoddard in Sill. J. II. Ser. 20, p. 161.
Nrs. 4—7. Loomis in Sill. J. 43, p. 298.

32. Nr. 8. Hildreth in Sill. J. 40, p. 346.
Nr. 9. Chappellsmith in Sill J. II. Ser. 23, p. 18.
Nr. 10. Hildreth in Sill. J. 40, p. 346.
Nr. 11. Loomis in Sill. J. 43. p. 298.
Nr. 12. Forshay in Espy's Fourth meteorological Report, Wash. 1857, p. 18; Tooley in Espy's Philosophy of Storms, Lond. 1841, p. 337.
Nrs. 13—15. Loomis in Sill J. 43, p. 298.
Nr. 16. Kain in Sill. J. 31, p. 252.
Nr. 17. Loomis in Sill. J. 43, p. 298.
Nr. 18. Zeitungsbericht in Sill. J. II. Ser. 24, p. 290.
Nr. 19. Beach in Sill. J. 43, p. 299.
Nr. 20. Loomis in Sill. J. 43, p. 298.
Nr. 21. Espy und Hare in Sill. J. 32, p. 158; Redfield in Sill. J. 41, p. 69; Beck in Sill. J. 36, p. 115; Espy in seinem Second Report on Meteorology, p. 9, und in seiner Philosophy of Storms, p. 15 und 309 (1841).
Nr. 22. Maltby in Sill. J. 39, p. 384.
Nr. 23. Gaylord in Sill. J. 37, p. 90.
Nr. 24. Denison Olmsted in Sill. J. 37, p. 340.
Nr. 25. Redfield in Sill. J. II. Ser. 2, p. 186.
Nr. 26. Loomis in Sill. J. 43, p. 298.
Nr. 27. Hare in Sill. J. 38. p. 73; Redfield in Sill. J. 43, p. 263.
Nr. 28. Woods in Sill. J. 35, p. 233.
Nr. 29. Redfield in Sill. J. II. Ser. 2, p. 186.
Nr. 30. Loomis in Sill. J. 43, p. 298.
Nr. 31. Loomis in Sill. J. 33, p. 368 und 43, p. 295.
Nr. 32. Floyd in Sill. J. 36, p. 71.
Nr. 33. Pouillet in den Compt. Rend. 21, p. 549; andere Berichte ebenda p. 498.

4. bis 9. Abschnitt. Die Wirbelstürme oder Cyclonen.

33. J. Capper, Observations on the Winds and Monsoons, Lond. 1801, p. 61—66.
34. Dove's von uns zu Rathe gezogenen Arbeiten über die Stürme sind folgende:
   a. Ueber barometrische Minima; in Pogg. Ann. 13, p. 596 (1828).
   b. Gesetz der Stürme, dritte Auflage, Berl. 1866; der Berliner Akademie vorgetragen 1840, erschien zuerst als Abhandlung von 41 Seiten in Pogg. Ann. 52, p. 1 (1841).
   c. Ueber das Verhalten des Barometers bei Orkanen; in den Berichten der Berliner Akademie 1845, p. 124.
   d. Darstellung der Wärmeerscheinungen durch fünftägige Mittel, Berl. 1856, Fol.
   e. Die Stürme der gemässigten Zone, Berl. 1863.
   f. Ueber Eiszeit, Föhn und Scirocco, Berl. 1867.
   g. Der Schweizer Föhn, Berl. 1868.
35. Redfield's uns zugängliche Arbeiten über die Wirbelstürme sind folgende:
   a. Remarks on the prevailing Storms of the Atlantic Coast of the North American Seas; in Sill. J. 20, p. 17—51 (April 1831).

b. Observations on the Hurricanes and Storms of the West-Indies and the Coast of the United States; Sill. J. 25, p. 114—121 (Oct. 1833).
c. Summary Statements of some of the leading Facts in Meteorology; Sill. J. 25, p. 122—135 (Oct. 1833).
d. On the Gales and Hurricanes of the Western Atlantic; Sill. J. 31, p. 115—139 (Oct. 1836).
e. Meteorological Sketches by an Observer; Sill. J. 31.
f. On the Courses of Hurricanes, with Notices of the Tyfoons of the China Sea, and other Storms; Sill. J. 35. p. 201—233 (Januar 1839).
g. Additional Facts relating to the Raleigh Tyfoon of Aug. 15 and 16, 1835, in the China Sea; Sill. J. 36, p. 59—61 (Apr. 1839).
h. Observations on the Storm of Dec. 15, 1839; Sill. J. 42, p. 112—119 (Januar 1842).
i. Reply to Dr. Hare's Objections to the Whirlwind Theory of Storms; Sill. J. 42, p. 299—316 (Apr. 1842).
k. Reply to Dr. Hare's further Objections relating to the Whirlwind Storms; Sill. J. 43, p. 250—263 (Oct. 1842).
l. Notice of Dr. Hare's Strictures on Prof. Dove's Essay on the Law of Storms; Sill. J. 44, p. 384—392 (Apr. 1843).
m. On three several Hurricanes of the American Seas and their Relations to the Northers, so called, of the Gulf of Mexico and the Bay of Honduras, with Charts; Sill. J. II. Ser. Bd. 1, p. 1—16, 153—169 und 333—367; Bd. 2, p. 162—187 und 311—334 (Januar bis November 1846).
n. On the first Hurricane of September 1853, in the Atlantic, with a Chart, and Notices of other Storms; Sill. J. II. Ser. 18, p. 1—18 und 176—190 (Juli und Sept. 1854).
o. On the Spirality of Motion in Whirlwinds and Tornadoes; Sill. J. II. Ser. 23, p. 23—24 (Januar 1857).
p. On the Avoidance of the Violent Portions of Cyclones, with Notices of a Typhoon at the Bonin Islands; Sill. J. II. Ser. 23, p. 205—211 (März 1857).
q. On the Cyclones or Typhoons of the North Pacific Ocean, with a Chart, showing their Courses of Progression; Sill. J. II. Ser. 24, p. 21—38 (Juli 1857).

Eine schöne Biographie des 1857 verstorbenen Redfield hat Prof. Denison Olmsted in Sill. J. II. Ser. 24, p. 355-370 veröffentlicht.

36. Reid's von uns benutzte Arbeiten sind:
a. An Attempt to develop the Law of Storms by means of Facts, Third Edition, Lond. 1850. (Die erste Auflage erschien 1838.)
b. The Progress of the Developement of the Law of Storms, Lond. 1849.
c. On Redfield's Law of Storms; Sill. J. 35, p. 276—283 (Januar 1839).

37. Piddington's Hauptarbeiten, von denen uns aber nur die letzten drei zugänglich waren, sind:
a. Twenty-three Memoirs on the Law of Storms in the Indian and China Seas; Journal of the Asiatic Society of Bengal from Vol. 8 to Vol. 23 (1839—1854).

b. The Sailor's Horn-Book for the Law of Storms, Second Edition, London 1851.
c. Conversations about Hurricanes, London 1852.
d. Journal der Brig Charles Heddle mit Bemerkungen Piddington's; im Nautical Magazine and Naval Chronicle for 1846 (London), p. 427—431, 459—465 und 520—526.

38. Thom, An Inquiry into the Nature and Course of Storms in the Indian Ocean south of the Equator, Lond. 1845.

39. Mohn, Atlas des Tempêtes de l'Institut méteorologique de Norvège (oder Det Norske meteorologiske Instituts Storm-Atlas), Christiania 1870, Fol.

40. a. Espy, Second and third Report on Meteorology, Washington 1851.
b. Message from the President of the United States, containing the fourth meteorological Report of Prof. James P. Espy, Wash. 1857.
c. J. P. Espy, The Philosophy of Storms. Lond. 1851. .
d. Bericht an die Pariser Akademie über Espy's Theorie der Orkane; Compt. Rend. 12 (1841), p. 454.

41. a. Hare, Objections to Mr. Redfields Theory of Storms, with some Strictures upon his reasoning; Sill. J. 42, p. 140—147 (Januar 1842).
b. Hare, Additional Objections to Redfield's Theory of Storms; in Sill. J. 43, p. 122—140 (Juli 1842).
c. Hare, Strictures on Prof. Dove's Essay on the Law of Storms; Sill. J. 44, p. 137—146 (Januar 1843).

42. Fitz Roy, The Weather Book, a Manual of practical Meteorology, 2[d] ed., Lond. 1863.

43. Proceedings and Transactions of the Meteorological Society of Mauritius, Vol. V. Mauritius 1861 und 1862, Vol. VI. Mauritius 1864, grösstentheils verfasst vom Secretair der Gesellschaft, Meldrum.

44. Dampier, Traité des Vents alisèz ou régléz, des Vents frais de Mer et de Terre, des Tempêtes . . . de toute la Zone torride, Amsterdam 1701.

45. M. F. Maury, Explanations and Sailing Directions to accompany the Wind and Current Charts, 7[th] ed., Philad. 1855, pagg. XXVIII und 287.

46. Gay-Lussac in den Annales de Chimie et de Physique, Bd. 33, p. 412—413.

47. Muncke in Gehler's physikalischem Wörterbuch, Bd. 10, p. 2047, Artikel „Wind".

48. Berthelot in den Annales de Chimie et de Physique 58, p. 204—218.

49. P. Baddeley, On the Dust-Storms of India; im Philosophical Magazine 1850, Vol. 37, p. 155—158.

50. Aeolian Researches of the seventeenth Century Nr. 12; im Nautical Magazine and Naval Chronicle for 1841, London, pag. 662.

* * *

51. Die Literatur über die **Spectral-Analyse der Sonnenatmosphäre** bis 1869 und 1870 findet sich zusammengestellt in:
a. Roscoe, die Spectralanalyse, Deutsch von Schorlemmer, Brschw. 1870;
b. Schellen, die Spectralanalyse, zweite Aufl., Brschw. 1871.

Da sie ausserdem sehr bekannt ist, so citiren wir nur einige neuere, von uns benutzte Abhandlungen.

Verschiedene Ergebnisse der Telescopie und der Telespectroscopie haben wir folgenden Werken entnommen:
c. H. J. Klein, Handbuch der allgemeinen Himmelsbeschreibung, Braunschweig 1869;
d. Secchi, Le Soleil, Paris 1870 (kürzlich Deutsch herausgegeben von Schellen).

52. C. A. Young, On the Solar Corona; in Sill. J. III. Ser., Bd. 1, p. 311 bis 320 (1871).
53. C. A. Young, Preliminary Catalogue of the bright lines in the Spectrum of the Chromosphere; in Sill. J. III. Series, Bd. 2, p. 332—335 (Nov. 1871).
54. L. Respighi, On the Solar Protuberances (Auszug aus dem Italienischen); in Sill. J. III. Series, Bd. 1, p. 283--287 (1871).
55. Secchi's neueste Abhandlungen von den Jahren 1871 und 1872 über die Protuberanzen, Fackeln, Corona und Flecke der Sonne; in den Compt Rend. 1871, Bd. 72, p. 829—831 und Bd. 73, p. 242—246, 593—599, 826—836 und 979—985, sowie 1872, Bd. 74, p. 218--224.
56. H. Vogel, Resultate spectralanalytischer Beobachtungen, angestellt auf der Sternwarte zu Bothkamp; in den Astronomischen Nachrichten (1871), Bd. 78, p. 241—252.
57. Young's Beobachtung über die Umkehrung der Frauenhofer'schen Linien, in Moigno, Les Mondes (1871), Bd. 24, p. 160.
58. Bericht in der Augsburger Allgemeinen Zeitung vom 9. Febr. 1872, Beilage, p. 600.
59. Zöllner, Ueber das Rotationsgesetz der Sonne und der grossen Planeten; in den Berichten der Kgl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Sitzung vom 11. Febr. 1871.
60. Zöllner, Ueber die Periodicität und heliographische Verbreitung der Sonnenflecken; in den Berichten der Kgl. Sächs. Gesellsch. der Wissenschaften, Sitzung vom 12. Dec. 1870, und in Pogg. Ann. 142, p. 524—539.
61. Spörer, Beobachtungen von Sonnenflecken und Protuberanzen; in den Astronomischen Nachrichten vom 13. Dec. 1871, Nr. 1870, p. 348.
62. Zöllner, Ueber die Temperatur und physische Beschaffenheit der Sonne; in Pogg. Ann. 187', Bd. 141, p. 353—375.

Personen- und Sach-Register.

(Die am Ende der Zeilen befindlichen Ziffern bezeichnen die Seitenzahlen.)

Africanischer Ursprung einiger Atlantischer Wirbelstürme. 92
Akin, wirbelnde Flammensäule bei einem Waldbrande. 9—10
Antigua- und St. Thomas-Orkan, 2. Aug. 1837. 130, 90, 89, 88, 84, 106—109
Arbeitsverbrauch in Cyclonen bei Aufwühlung des Luftraumes. 119—121
Arkona, Preussische Corvette im Teifun vom 2. Sept. 1860. 114—116

Baddeley, Indische Staubstürme. 126
Bailleul, Tromben über heisser Lava. 20
Barometer, warnt frühzeitig vor Wirbelstürmen. 207, 206, 191, 112, 87
-Curven verschiedener Orkane. 87—89
— Linien gleichen Barometerstandes in Cyclonen. 90—91
Barral und Bixio, Luftschifffahrt. 41, 40
Baussard, Wasserhosen bei fast wolkenfreiem Himmel. 22
Beaufort, Windskale. 82
Beck, Tornado von New Brunswick. 66
Belt, Staubsäulen in Australien. 19
erklärt die Wettersäulen für aufsteigende Luftströme. 45, 40, 20, 17
Berthelot, Sturm von Teneriffa, 6. bis 7. Nov. 1826. 110—111
Böen und Windstösse in Orkanen. 208, 204, 160, 134, 85
Bruce, Sandsäulen in den Africanischen Wüsten 19
Buys-Ballot'sches Gesetz d. Stürme. 188, 90
Capper erklärt schon 1801 die Orkane für grosse Wirbelwinde. 77
Cap Verde- und Hatteras-Orkan, Aug. und Sept. 1853. 94, 92, 88, 87
Carrington, Bewegung d. Sonnenflecke. 176
Chappellsmith, Tornado von New Harmony. 74
Charles Heddle, Fahrt dieser Brig in einer Cyclone, Febr. 1845. 95, 80—81
Chromosphäre der Sonne. 167
Clarke, Staubsäulen in den Russischen Steppen. 19
Cowles, wirbelnde Feuersäule bei einem Waldbrande. 8—9
Cuba-Orkan, 4.—7. Oct. 1844. 130, 120—121, 91—92, 88, 87, 84, 81, 79—80
Cyclonen siehe „Wirbelstürme“.
Cyclonenritt des Kriegsschiffes Havannah, Capitain Erskine. 195

Dampier, Beschreibung der Chinesischen Teifuns. 86—87
— erklärt schon 1701 die Teifuns und Orkane für Wirbelwinde. 113, 114
— Schilderung der See-Tornados. 128 bis 129
Dobrezhoffer, Wirbelwinde über Grasbränden, die Regen erzeugen. 14
Dove, Wirbelsturm von Weihnachten 1821. 78, 77
— Gesetz der Stürme. 78
— Todtenstille im Centrum vieler Cyclonen. 83

Dove, Gesammtverminderung des Luftdruckes in Orkanen. 90
— Orkan von St. Thomas und Antigua, 2. Aug. 1837. 130, 90, 89, 88, 84
— Barbados-Orkan, 10. und 11. August 1831. 102—105
— der „grosse Orkan“, Oct. 1780. 116 bis 119
— über die Entstehung der Wirbelstürme. 157, 151—155
Dünung vor und seitlich von Orkanen. 205, 204, 191, 135, 119, 99
Dwight, wirbelnde Feuersäule bei einem Waldbrande. 9

Eknephias oder See-Tornados. 126—129
Electrische Hypothese zur Erklärung der Wettersäulen und Cyclonen. 147 bis 148, 37—38
— Erscheinungen in Cyclonen. 105 bis 106
Erskine, Capit., Cyclonenritt des Kriegsschiffes Havannah. 195
Espy, Stürme und Wettersäulen durch Dampfkraft erzeugt. 147, 46, 45, 38, 17, 12
— bestreitet die Wirbelbewegung der Luft in Orkanen. 147, 78, 55

Fitz Roy, Orkan von Antigua, 12. Aug. 1835. 84
Futtle Rozack-Cyclone, Nov. 1843. 159, 99
Fyers, Sandsäulen in Indien. 19

Galilei, wolkenartige Beschaffenheit der Sonnenflecke. 177—178, 175
Gas-Cyclonen in der Sonnen-Atmosphäre. 180—182, 168—169
Guy-Lussac, Sturm auf Guadaloupe, 25. Juli 1825. 109
Gewitter, entstehen oft durch aufsteigende Luftströme. 48, 44, 12
Glaisher, Luftschifffahrten. 41
Golfstrom, ihm folgen die Westatlantischen Orkane. 143, 92

Hagel, Begleiter von Wettersäulen und Tornados. 60, 48, 45, 32, 25
Hagelwetter, ihre Analogie mit Wettersäulen. 226, 48—49
Hall, Capit., Bericht über Vermeidung eines Teifuncentrums. 207—209
Hamilton, Wirbelwinde über vulkanischer Asche. 20
Hare, hält Wettersäulen und Stürme für Erzeugnisse statischer Electricität. 63, 17
— Tornado von New Brunswick. 66—67
— Tornado von Providence. 73
— bestreitet die Wirbelwegung der Luft in Orkanen. 78
— bestreitet Redfield's Annahme einer schief stehenden Cyclonenaxe. 157
Haufenwolken, gebildet im aufsteigenden Luftstrome. 44, 13—14
Herschel (J. F. W.), Sonnenflecke und Tornados auf der Sonne 185
Horner, über Wasserhosen. 29, 22, 21
Huggins, Sonnenprotuberanzen. 166
Humboldt, Sandhosen der Südamericanischen Steppen. 19
— über die Entstehung der Sandhosen. 37, 19
— der obere, heftige Passat auf dem Pik von Teneriffa. 141

Janssen beobachtet zuerst die Protuberanzen bei Sonnenschein. 166
Isobarometrische Curven in Orkanen. 90 bis 91

Kirchhoff weist zuerst Metalldämpfe in der Sonnen-Atmosphäre nach. 164—165
— hält die Sonnenflecke für wolkenartige Gebilde. 185, 178, 177, 175

Labiles Gleichgewicht der Atmosphäre. 222—226, 131, 53, 39—42
Lampadius, Wettersäule von Hainichen. 27
Leymerie, Sturm des Kutters Vautour entsteht aus einer Trombe. 136
Lockyer, über Protuberanzen, Chromosphäre, Sonnenflecke und Fackeln. 175, 168—169, 167, 166
— Gas-Cyclonen in der Sonnen-Atmosphäre. 181—182, 169

Loomis, Tabelle Americanischer Tornados. 60, 55
— Drehungssinn kleinerer Wirbelwinde. 62
— Tornado von Stow in Ohio. 68—70
— Tornado von Mayfield. 70=71
Luftdruck, seine Gesammt-Verminderung in Cyclonen. 90
Luftschifffahrten von Glaisher und von Barral und Bixio. 41—42
Luftspiegelungen in Sandwüsten. 46, 42, 39
Luftströme, vertikale in der Atmosphäre. 224—234, 142, 130—133, 62, 46—53, 44—45, 42, 38, 24, 15—16
Lyons, Staubsäulen in Mexico. 20

Mackay, Wirbelwinde und Regen erzeugt durch Schilfbrände. 12—14
de **Maistre** hält die Tromben für ein Erzeugniss entgegengesetzter Luftströme. 17
Mauritius-Orkane. 140, 133, 122, 111 bis 113
Maury, Westindische Orkane folgen schliesslich dem Golfstrome. 92
Maxwell, Zeichnung von Wasserhosen. 22, 23
Meldrum, Cyclonen des südlichen Indischen Oceans. 150, 93
Miller, Capit., Benutzung eines Wirbelsturmes zu schneller Fahrt. 206
Mohn, über die Europäischen Cyclonen. 141—142, 93, 90—91, 78
— Isobarometrische Curven in Wirbelsturmen. 90—91
— Erklärung des Fortrückens der Wirbelstürme. 141—142
Muncke bestreitet die Wirbelhypothese für die Wettersäulen. 36
— Schilderung der Mauritius-Orkane. 111—112

Nasmyth, Sonnenflecken-Gruppe. 172
Nöggerath, Wettersäulen im Rheinthale. 30

Ochsenauge, ein Vorzeichen der See-Tornados. 127
Oersted hält die Wettersäulen für Erzeugnisse sich begegnender Luftströme. 17
— Höhe der Wettersäulen. 23
— Fall des Barometers in der Wettersäule von Eu. 26
Olmsted (Alex. Fischer), Wirbelwinde bei einem Rohrbrande. 10, 3—8
Olmsted (Denison), Tornado von New Haven. 74, 64—65
Orkane siehe „Wirbelstürme“.

Peltier hält die Wettersäulen für Erzeugnisse statischer Electricität. 37, 30, 17
— Verzeichniss von 116 Land- und Wasserhosen. 25, 24, 21
— Trombe von Chatenay 38, 29
— Liste von Autoren über Wettersäulen. 37, 35
Piddington, Ostindische und Chinesische Wirbelstürme. 78
— Fahrt der Brig Charles Heddle in einer Cyclone. 80, 81
— das Einströmen der Luft in Cyclonen. 80, 81
— Wirbelwinde, Tornados und Cyclonen in stetiger Reihenfolge. 130, 83
— Durchmesser des sturmfreien Cyclonencentrums. 84
— Calcutta-Cyclone, 1842. 184, 105, 84
— Barometercurven von sieben tropischen Orkanen. 88, 89
— Karte von Sturmbahnen des südl. Indischen Oceans. 93, 92
— Seegang in der Futtle Rozack-Cyclone. 99
— Tornado-Cyclonen. 133, 125
— Auge des Sturmes. 133
— Höhe der Wirbelstürme. 140
— über die Rolle der Electricität in Cyclonen. 106, 147—148
— Bengalische Cyclone, Oct. 1848. 148
— Widerlegung von Thom's Ansichten über Entstehung der Cyclonen. 150
— hat zuerst das Buys-Ballot'sche Gesetz ausgesprochen. 188
— Regeln für Schiffe in Wirbelstürmen. 194—195

Piddington, Untergang Engl. Kriegs- und Priesenschiffe, 17. Sept. 1782. 203
Pilla, wirbelnde Rauchsäule über flüssiger Lava. 20
Pouillet, Trombe von Monville-Malaunay. 60, 51, 47, 25, 24

vom Rath, Wettersäule von Königswinter. 30—34
Redfield, durch Feuer erzeugte Wirbelwinde. 8—9
— vermeintliche Bohrkraft rotirender Rauchsäulen. 16
— hält die Tornados für Erzeugnisse sich begegnender Windströme. 63, 61, 17
— Tornado von New Brunswick. 67
— Tornado von Providence. 71—73
— erklärt schon 1831 die N. Americanischen Küstenstürme für Wirbelstürme. 77
— ermittelt zuerst die Bahnen Westindischer Orkane. 78
— der Cuba-Orkan, 4.—7. Octbr. 1844. 120, 91—92, 88, 87, 84, 81, 79—80
— Einströmen der Luft gegen das Cyclonencentrum. 80
— Durchmesser Westatlantischer Orkane. 83
— Bewegungsrichtung der fliegenden Sturmwolken. 86
— Barometercurven von zwei Orkanen. 87, 88
— Cap Verde- und Hatteras-Orkan, Aug. und Sept. 1853. 94, 92, 87—88
— Karten von Sturmbahnen. 92
— Antje-Orkan, Sept. 1842. 96
— Steigen des Barometers rings um Cyclonen. 135
— Höhe der Wirbelstürme. 140, 139
— die regnerische und die trockene Hälfte der Cyclonen. 86, 142—143
— die Fliehkraft der wirbelnden Luft als Ursache der Luftdruck-Abnahme. 157
Regen erzeugt durch Schilf- und Grasbrände. 12—14
— erzeugt durch Wasserhosen und Wettersäulen. 48, 47, 32, 26, 25, 22
Regen, heftiger als beständiger Begleiter der Wirbelstürme. 143, 132, 122 bis 123, 85
Reid, Fall des Barometers in einer Wettersäule. 26
— Sturmbahnen; Drehungssinn südlicher Cyclonen. 92, 78
— constatirt eine Todtenstille im Centrum vieler Cyclonen. 83
— Wogengang in Orkanen. 97—99
— Geschwindigkeit der Meereswellen. 99
— Ueberschwemmungen durch die Cyclonenwelle. 100
— Barbados-Orkan, 10. und 11. Aug. 1831. 102—105
— Antigua- und St. Thomas-Orkan, 2. Aug. 1837. 137, 130, 106—109
— der „grosse Orkan“ vom 10. Octbr. 1780. 116—119
— Auge des Sturmes. 133
— Steigen des Barometers und Dünung rings um Cyclonen. 135
— Ursprung eines Westindischen Orkanes. 135
— Höhe der Wirbelstürme. 140
— Sturmkreise zum Gebrauche für Seeleute. 189
— Regel über das Beidrehen der Schiffe in Cyclonen. 196—200
— Capit. Miller's schnelle Fahrt in einer Cyclone. 206
Respighi, Beobachtungen über Protuberanzen, Sonnenflecke und Fackeln. 179, 174—175, 167
Reye, Beobachtungen von Staubwirbeln. 18—19
Rodgers, Commodore, Vermeidung von Chinesischen Teifuns. 204—205

Sand- und Staubsäulen in allen Erdtheilen. 19
Scheiner, Umlaufszeit d. Sonnenflecke. 176
Schmid, Meteorologie. 17
Secchi, Protuberanzen, Sonnenflecke und Fackeln. 183, 181, 179, 175, 173 bis 174, 170, 167, 165
v. Seebach, Aschentrombe des Vulkans von Santorin. 10—12

v. Seebach, Tornados an der Westküste von Central-America. 129
Sonne, Constitution ihrer Atmosphäre. 175, 170, 164—167
— Corona und Leukosphäre. 165—166
— Protuberanzen und Chromosphäre. 230—234, 186, 181, 166—170
— Wirbelstürme in der Sonnenatmosphäre. 180—182, 168—169
— Flecke und Fackeln. 171—178
— Erklärung der Sonnenflecke. 178—186
Spörer, Sonnenflecke und Protuberanzen. 186, 178, 176, 171
Staubstürme in Indien. 126
Staubwirbel auf sonnigen Plätzen, in Steppen und Wüsten. 18—19
Stephenson, rotirende Sandsäulen am Ganges. 19
Stoddard, Tornado von Harrison. 63
Sturm siehe „Wirbelstürme“.
— -Wolken, fliegende, und ihre Bewegungsrichtung. 159, 132, 86
— -Bahnen und Sturmkarten. 193, 145, 143, 91—93

Tacchini, Sonnenflecke. 179, 171
Teifuns der Chinesischen Meere (s. auch „Wirbelstürme“). 207—209, 204—206, 193, 114—116, 101, 93, 86, 83
Tennant, spiralförmige Protuberanz während der Sonnenfinsterniss von 1868. 168
Thom, entgegengesetzter Drehungssinn gleichzeitiger Staubwirbel. 62
— Mauritius-Orkan, April 1840. 133, 122, 84
— die erstaunlichen Regengüsse bei Indischen Cyclonen. 143, 122, 85
— Schilderung des Seeganges in Wirbelstürmen. 97—98
— Dünung 300—400 Seemeilen weit rings um Cyclonen. 99
— Auge des Sturmes. 133
— Höhe der Wirbelstürme. 140
— Erklärung der Cyclonen durch entgegengesetzte Monsune. 148—150
Tooley, Tornado von Natchez. 74—75
Tornado-Cyclonen. 133, 125
Tornados an den Küsten Africa's und Central-America's. 138-139, 126-129
— in Bengalen. 83
Tornados von Nordamerica im Allgemeinen.
— Tabelle von Loomis. 60, 55
— Uebersicht von 31 Tornados. 56—59
— begleitender Blitz und Regen, gleichzeitige Schwüle. 60
— trichterförmige oder schlauchartige Gestalt. 61
— Breite und Länge der Bahn; Geschwindigkeit und Dauer. 61
— Bewegung der Luft nach innen u. aufwärts, schwache Drehung. 139, 71, 62
— östliche Richtung ihrer Bahnen. 62
— gleichzeitiges Auftreten mehrerer. 63
— überspringen grössere Landstrecken. 63
— wirkliche Breite der Tornado-Stürme. 73—75
Tornados von Nordamerica, Schilderung einzelner.
— von New Haven. 74, 64—65
— von New Brunswick. 65—67
— von Stow in Ohio. 68—70
— von Mayfield. 70—71
— von Providence. 71—73
— von New Harmony im Centrum eines Wirbelsturmes. 74
— von Natchez. 74—75
Trombe siehe „Wettersäule“ und „Tornados“.

Ueberschwemmungen durch Cyclonenwellen oder Sturmfluthen. 110, 100—101

Vegetation durch Orkane total vernichtet. 204, 119, 113, 107, 104
Virgilius, Schilderung eines Orkanes. 96
Vogel, Beobachtungen von Protuberanzen. 180, 169

Wasserdampf, seine Rolle in aufsteigenden Luftströmen. 225, 134, 132, 42—44
Wasserhose, siehe auch „Wettersäule“ und „Tornados.“
— Schilderung einer solchen. 1
— vorhergehende Windstille. 21

Wasserhose, ihre Schlauchform. 22
— bei fast wolkenfreiem Himmel. 22
— Zeichnung von Maxwell. 23
— gleichzeitiges Auftreten mehrerer. 63, 25
— mechanische Wirkungen. 28
— ihr Vorkommen auf allen warmen Meeren, auf Seen und Flüssen. 28
— die von Königswinter wird zweimal zur Staubhose. 32
Wellen, pyramidale in Cyclonen (Wirbelstürmen). 205, 97—99
— ihre Geschwindigkeit in Stürmen. 99
— meilenbreite Cyclonenwellen und ihre Verwüstungen. 100—101
Wettersäule im Allgemeinen (s. auch „Tornados“, „Wasserhose“ u. „Wirbelwinde“).
— vorausgehende Schwüle und Windstille. 21
— Analogie mit Wirbelwinden über Brandstätten. 38, 15
— Trichter- und Schlauchform. 49, 44, 22
— Dimensionen. 22
— fortschreitende, rotirende und vertikale Bewegung. 49—52, 47, 24
— überspringt grössere Landstrecken. 63, 49, 24
— Einströmen der Luft von allen Seiten. 51, 46, 25
— begleitende electrische Erscheinungen. 48, 29, 25
— begleitender Hagel. 48, 45, 32, 25
— Fall des Barometers in ihr, Saugwirkungen. 75, 47, 25—26
— begleitendes Getöse. 48, 26
— mechanische Wirkungen. 47, 26
— kann von einer Landhose zur Wasserhose werden. 56—59, 47, 30
— ältere Erklärungen derselben nebst Widerlegung. 63, 61, 35—38
— ihre Entstehung durch vertikale Luftströme. 46—53, 38
— Windstille im Centrum des Fusses. 50
— Erniedrigung der Lufttemperatur durch dieselben. 53
— örtliche und geographische Verbreitung. 161—162
Wettersäulen, Schilderung einzelner.
— von Monville-Malaunay. **60, 51, 47, 25, 24**
— auf dem Euphrat. **26**
— von Hainichen im Erzgebirge. **27—28**
— von Chatenay. **38, 29**
— von Königswinter. **30—34**
— von Calcutta. **75, 60**
Windfahne, ihre Drehung im Wirbelsturme. **191, 95**
Windgeschwindigkeit in Cyclonen. **192, 158, 93**
Windskalen der Smithsonian Institution u. des Capitain Beaufort. **82**
Windstille im Centrum von Orkanen. **133, 96, 90, 83—84**
Wirbel im Wasser. **150, 36, 16**
Wirbelhypothese zur Erklärung der Wettersäulen. **35—37**
Wirbelstürme im Allgemeinen.
— Geschichtliches über die Entdeckung ihrer Bewegungsgesetze. **77**
— Drehungssinn. **137—138, 79—81, 78, 77, 2**
— Einströmen der Luft gegen das Centrum. **131, 120, 94, 79—81**
— Vögel und Insecten im windstillen Centrum. **148, 81**
— Zunahme der Windgeschwindigkeit nach innen zu. **192, 158, 132, 81**
— Durchmesser. **144, 125, 81—83**
— Wettersäulen, Tornados und Cyclonen bilden eine Classe von Erscheinungen. **155, 130, 83**
— Windstille im Centrum. **133, 96, 90, 83—84**
— Durchmesser des windstillen Centralraumes. **148, 84**
— Böen und Stösse des Sturmwindes. **208, 204, 160, 134, 85**
— Wolken u. Regengüsse, ihre beständigen Begleiter. **143, 132, 122—123, 85**
— Fall des Barometers im Innern. **132, 125, 87—90**
— Isobarometrische Curven von Mohn. **90—91**
— Unrunde Form vieler Wirbelstürme. **145, 96, 90**

Wirbelstürme, Sturmbahnen und Sturmkarten. 193, 145, 143, 91—93
— Africanischer Ursprung atlantischer Orkane. 92
— Fortschreitende Bewegung des Centrums. 141—143, 93—95
— Drehung der Windfahne in Cyclonen. 191, 95
— Wogengang in Orkanen. 205, 204, 192, 119, 97—99
— meilenbreite Cyclonenwellen und ihre Verheerungen. 100—101
— Jahreszeiten, in denen die Cyclonen vorzugsweise eintreten 134, 101
— electrische Erscheinungen in Cyclonen. 105—106
— Arbeitsverbrauch bei Aufwühlung des Luftraumes. 119—121
— Tornado-Cyclonen. 133, 125
— Entstehung der Wirbelstürme. 135 bis 137, 130
— der aufsteigende Luftstrom in Cyclonen. 132, 130—131
— Wärme des atmosph. Wasserdampfes als Triebkraft. 132—134
— Auge des Sturmes. 133
— Steigen des Barometers rings um Cyclonen. 135
— Erdrotation als Ursache der Wirbelbewegung. 137—138
— Höhe der Cyclonen. 139—140
— Mohn's Erklärung ihres Fortrückens. 141—142
— heisse und kalte Windstösse in Cyclonen. 159
— Cyclonen der Vorzeit. 162
— Gas-Cyclonen in der Sonnen-Atmosphäre. 180—182, 168—169
— gleichzeitige und sich theilende Orkane. 184
— das Buys-Ballot'sche Gesetz. 188
— Vorzeichen der Cyclonen. 112, 191-192
— geographische Verbreitung der Cyclonen. 162, 192 193
— Bestimmung der Sturmbahn von einem Schiffe aus. 193
— Verhalten von Schiffen in Cyclonen. 194—195

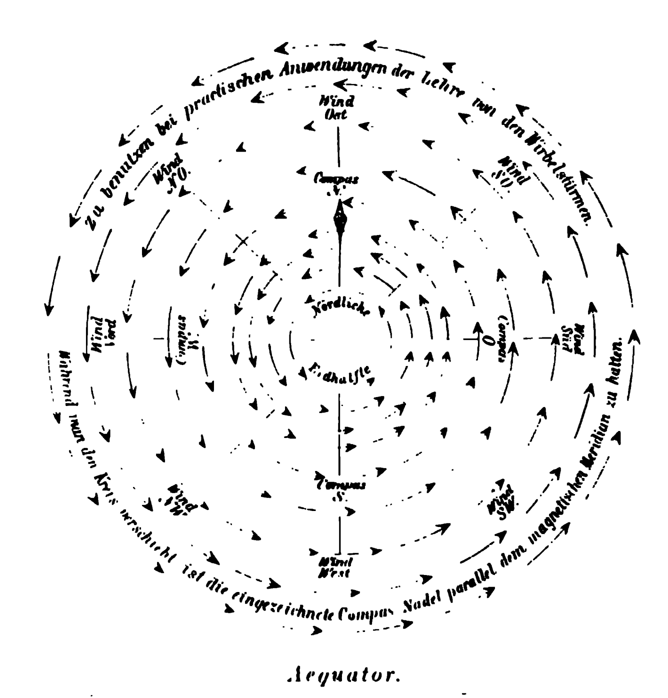
Wirbelstürme, Cyclonensegeln und Cyclonenritt. 195
— Reid's Regel über das Beidrehen der Schiffe. 196 200
— Heraussegeln aus einem Wirbelsturme. 200—201
— das gefährliche Viertel eines Wirbelsturmes. 200—202
— Vermeidung von Teifuns seitens des Commodore Rodgers. 204—205

Wirbelstürme, einzelne.
— Cuba-Orkan, 4. bis 7. October 1844. 130, 120—121, 91—92 88, 87, 84, 81, 79—80
— Charles Heddle-Orkan, Febr. 1845. 95, 80—81
— Cyclone im südl. Indischen Ocean, 12.—19. Mai 1863. 150, 94, 82
— Chinesische Teifuns. 207—209, 204 bis 206, 193, 114, 101, 93, 86, 83
— Antigua- und St. Thomas-Orkan, 2. August 1837. 137, 130, 106—109, 90, 89, 88, 84
— Calcutta-Cyclone, Juni 1842. 184, 105, 84
— Cyclone an der Küste Malabar, April 1847. 140, 122, 84
— Mauritius-Orkan, April 1840. 133, 122, 84
— Cap Verde- u. Hatteras-Orkan, Aug. und Septbr. 1853. 94, 92, 87—88
— Antje-Orkan, Septbr. 1842. 96
— Futtle Rozack-Cyclone, Novbr. 1843. 159, 99
— Barbados-Orkan, 10. bis 11. August 1831. 130, 102—105, 101
— Guadaloupe-Orkan, 25. Juli 1825. 109
— Europäische Stürme. 110
— Teneriffa-Orkan, 6. bis 7. Nov. 1826. 110—111
— Mauritius-Orkane, besonders der vom 1. März 1818. 140, 111—113
— Antego-Orkan, 1681. 113
— Manilla-Teifun, 27. Oct. 1856. 114
— Japanischer Teifun der Arkona, 2. Sept. 1860. 114—116
— Der „grosse Orkan", 10. October 1780. 116—119

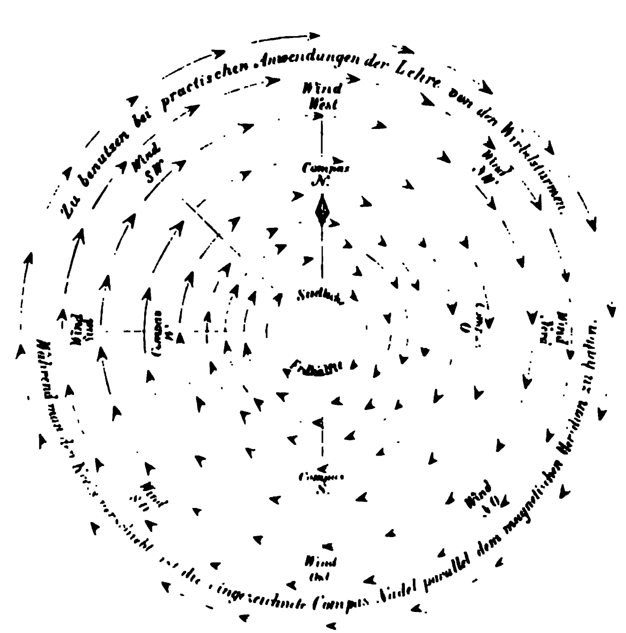
Wirbelstürme, Sturm des Vautour, 2. Sept. 1804, entsteht aus einer Trombe. 136
— Bengalische Cyclone, October 1848. 148
— Untergang Engl. Kriegs- und Priesenschiffe, 17. Septbr. 1782. 203
Wirbelwinde beim Brande eines Rohrgebüsches. 3—8
— ihre verschiedenen Formen. 49, 5—6
— über Feuern in Hofräumen. 7
— bei Waldbränden. 8—9
— über Kratern thätiger Vulkane. 12, 11, 10
— bei Schilf- und Grasbränden. 14—15
— auf Landstrassen und sonnigen Plätzen. 18
— in Sandwüsten und Steppen. 161, 19
— über heisser Lava und Asche. 38, 20
— Einwände gegen die electrische und die Wirbelhypothese. 21
— hinter Hausecken und auf Höfen. 36
Wirbelwinde, Drehungssinn verschieden, selbst bei gleichzeitigen. 62
Wogengang und Kreuzsee in Orkanen. 205, 204, 192, 119, 97—99
Wolf (R.), Periodicität der Sonnenflecke. 185
Wolken und Regengüsse, beständige Begleiter der Cyclonen. 143, 132, 122—123, 85
Wolkenbank als Vorzeichen eines Wirbelsturmes. 207—208, 206, 204, 191, 132, 86

Young (C. A.), Protuberanzen, Sonnenflecke und Fackeln. 175, 170, 165

Zöllner, Beobachtungen von Sonnen-Protuberanzen. 168, 167
— Beschaffenheit der Sonnenflecke. 185, 183, 177—178
— Erklärung der Protuberanzen. 231



Aequator.



Zum Gebrauche sind diese Kreise auszuschneiden und mit Terpentinöl durchscheinend zu machen. Sie werden auf Seekarten in der Richtung, nach welcher ein Orkan fortschreitet, verschoben

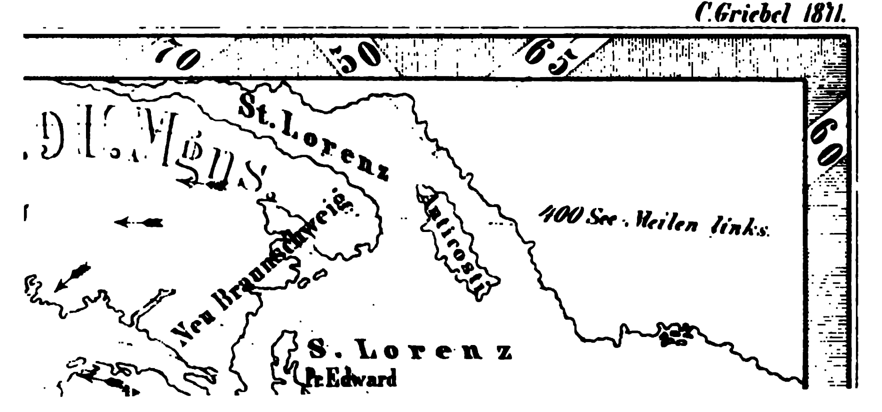




Karte I.

...OM 5ten BIS 7ten OCTOBER 1844.

C. Griebel 1871.









90

8(



90 80

EDENER

ORKANE

ld.

C. Griebel. 1851.

90 80 West L.











